



EFEKTIVITAS POMPA AIR *DIRECT CURRENT* (DC) ENERGI SURYA

SKRIPSI

Diajukan sebagai Syarat dalam Rangka Penyelesaian

Studi

Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Mesin

Disusun Oleh ;

NOVRI ARDHIANSYAH HARAHAHAP

NPM. 6414500006

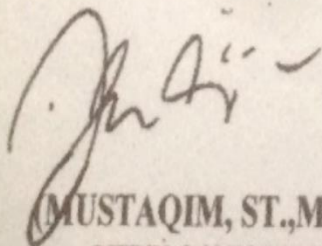
**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL
TAHUN
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

Disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk di
Pertahankan di Hadapan Sidang Dewan Penguji
Skripsi Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal

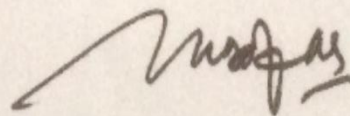
Tegal,.....

Pembimbing I,



(MUSTAQIM, ST., M.Eng)
NIPY.0607057001

Pembimbing II,



(M.AGUS SIDIQ, ST., MT.)
NIPY.0602017803

6/8/20

PENGESAHAN

Telah diperintahkan di hadapan Sidang Dewan Penguji Skripsi Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal.

Pada Hari : Jum'at

Tanggal : 14 Agustus 2020

Anggota Penguji

Penguji I

Mustaqim, ST., M.Eng

NIPY.0607057001

(.....)

Penguji II

Ir. Soebyakto, MT

NIPY. 0603026001

(.....)

Penguji III

Ir. Zulfah M., M

NIPY.20562111978

(.....)

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Agus Wibowo, ST., MT

NIPY. 126518101972

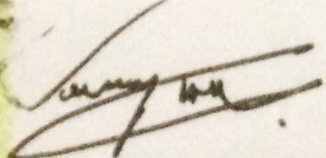
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “ **Pompa Air DC (Direct Current) Tenaga Surya**”, ini beserta seluruh isinya adalah benar – benar karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara – cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat. Atas pernyataan ini saya siap menanggung resiko / Sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Tegal,.....2020

yang membuat pernyataan,




NOVRI ARDHIANSYAH

NPM.6414500006

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

A. MOTTO

1. Perubahan adalah Karya berjuta – juta Massa
2. Hidup itu untuk berjuang
3. Tidak ada kata terlambat selagi mau mencoba
4. Rakyat adalah kunci dalam melakukan perjuangan
5. Sampaikan lah walau Satu ayat
6. Jika Anda Ingin tahu teori dan Metodologi Revolusi, Anda harus ambil bagian dalam gerakan revolusi. Pengetahuan Sejati hanya diperoleh dengan pengalaman Langsung.(MAO ZEDONG)
7. Mutu do Siborok, mengalului guluan, Sai mutu do roha, maguluhui Hangoluan.
8. Masa terbaik dalam hidup seseorang adalah masa ia dapat menggunakan kebebasan yang telah ia rebut sendiri (Pram)

B. PERSEMBAHAN

1. Ibu tercinta Ida Farida Siregar yang tiada hentinya selalau mensupport baik secara materil dan non materil selama dalam hidup saya.
2. Intan Ayu Lestari dan Keluarga yang semasa saya ber Kuliah selalu memberikan semangat agar dalam menyelesaikan Studi perguruan Tinggi.
3. Segenap keluarga Kampung Pemulung yang sudah bersama – sama membangun rasa persaudaraan, dalam bergotong royong.
4. Kawan – Kawan Kost Intan yang telah menemani semasa perkuliahan
5. Bapak Mustaqim ST,M,eng yang telah membantu saya dalam penyelesaian Skripsi ini.
6. Segenap bapak ibu dosen Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal yang telah memberikan saya Ilmu pengetahuan.

PRAKATA

Puji Syukur atas kehadiran Allah AWT, Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan Nikmat kesehatan jasmani dan rohani, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi ini dengan judul “ Pompa Air DC (Direct Current) Tenaga Surya”. Penyusunan skripsi ini dimaksud untuk memenuhi salah satu syarat dalam rangka penyelesaian studi strata satu program studi Teknik mesin Fakultas Teknik.

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal bapak Dr. Agus Wibowo ST.MT, dan jajaran Dekanat Fakultas Teknik
2. Dosen Pembimbing I Bapak Mustaqim ST,.M.Eng.
3. Dosen Pembimbing II M.Agus Siddiq ST,MT.
4. Kaprogdi Teknik Mesin Universitas Pancasakti Tegal Bapak Hadi ST,MT,.
5. Teman – teman seperjuangan Kelas TM A

Semoga langkah kita dikemudian hari membuahkan hasil atas apa yang telah kita lakukan selama belajar dan berproses di kampus Universitas Pancasakti Tegal.

Penulis,.

Novri Ardhiansyah Harahap

ABSTRAK

Novri Ardhiansyah Harahap, Efektifitas Pompa Air Direct Current (DC) Energi Surya. Skripsi, Tegal; Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal.2020. Penelitian Ini bertujuan memanfaatkan energi surya pada sistem pompa air sebagai penyuplai daya energi, yang nantinya dapat diaplikasikan secara luas di Indonesia. Untuk penerapannya dalam penelitian ini akan diterapkan pada pompa air Direct Current (DC) dengan panel surya 100 WP. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: Bagaimana efektivitas pompa air tenaga surya?

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen, dimana peneliti mengambil dan menguji data Intensitas Matahari, pengujian sudut panel surya pada sudut $30^0, 60^0, 90^0$, Pengujian kapasitas baterai 24 Volt 50 Ah, Pengujian jatuh Tegangan pada kondisi cuaca cerah dan mendung, serta pengujian pompa air, kemudian akan didapatkan data dan analisa data.

Dari hasil pengujian dalam penelitian ini diperoleh data Intensitas Cahaya Matahari di wilayah Kali Ketiwon, Dampyak Kabupaten Tegal dengan nilai rata – rata Intensitas matahari selama dua hari pada pukul 08.00 – 16.00 Wib sebesar $844,6 \text{ W/m}^2$, untuk presentase jatuh tegangan dengan beban pompa air 60 watt pada sistem fotofoltak terbesar pada cuaca mendung 3,1% dan jatuh tegangan terkecil pada cuaca cerah sebesar 1,76%. Sementara untuk pengujian kapasitas baterai yang dicoba selama 1 jam ter ukur arus pada 10 menit pertama 82,89 ampere dan 10 menit ke 6 82,17 ampere yang merupakan sisa kapasitas baterai setelah pemakaian pengujian. Pada pengujian sudut panel surya didapatkan arus dan tegangan yang stabil pada sudut 60^0 dengan nilai rata – rata 19,52 Volt dan 1,94 Ampere, sedangkan nilai rata – rata efisiensi pompa selama pengujian sebesar 68%, maka untuk kebutuhan kapasitas baterai dan panel surya 100 Wp dengan beban pompa air 60 Watt sudah tepat.

Kata Kunci : Panel surya, Baterai, Pompa Air, Jatuh Tegangan, Efisiensi.

ABSTRACT

Novri Ardiansyah Harahap, Effectiveness of Solar Energy Direct Current (DC) Water Pumps. Thesis, Tegal; Faculty of Engineering, University of Pancasakti Tegal.2020. This research aims to utilize solar energy in water pumping systems as a supplier of energy power, which can later be widely applied in Indonesia. For its application in this study it will be applied to Direct Current (DC) water pumps with 100 WP solar panels. The formulation of the problem in this study is: How is the effectiveness of solar water pumps?

The research method used is an experimental method, where researchers take and test the data of the Sun Intensity, testing the angle of the solar panel at an angle of 300,600,900, Testing the battery capacity of 24 Volt 50 Ah, Testing the voltage drop in sunny and cloudy weather conditions, and testing the water pump, then will obtained data and data analysis.

From the test results in this study obtained the data of the Sun Light Intensity in the Kali Ketiwon region, Dampyak Tegal Regency with an average value of solar intensity for two days at 08.00 - 16.00 WIB at 844.6 W / m², for the percentage of voltage drop with pump loads 60 watts of water in the photo system is the biggest in 3.1% cloudy weather and the smallest voltage drop in sunny weather is 1.76%. While for testing the capacity of a battery that is tried for 1 hour measured the current in the first 10 minutes 82.89 amperes and 10 minutes to 6 82.17 amperes which is the remaining battery capacity after the use of the test. In testing the solar panel angle, the current and voltage are stable at an angle of 600 with an average value of 19.52 Volts and 1.94 Amperes, while the average value of pump efficiency during testing is 68%, so for the needs of battery capacity and solar panels 100 Wp with a 60 Watt water pump load is appropriate.

Kata Kunci : Panel surya, Baterai, Pompa Air, Jatuh Tegangan, Efisiensi.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
PRAKATA.....	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Batasan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Sistematika Penulisan	5
BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Landasan Teori.....	7
2.2. Tinjauan Pustaka.....	55
BAB III METEDOLOGI PENELITIAN	58
3.1. Metode Penelitian	58
3.2. Waktu dan tempat penelitian.....	58
3.3. Alat dan Bahan.....	59
3.4. Variabel Penelitian.....	63
3.5. Teknik Pengumpulan Data.....	65
3.6. Metode Analisis Data	66
3.7. Diagram Alur Penelitian	69
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	70
4.1. Hasil Penelitian	70
4.2. Pembahasan.....	91

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	97
5.1. Kesimpulan	97
5.2. Saran	98
DAFTAR PUSTAKA	99
LAMPIRAN – LAMPIRAN	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur sel surya.....	9
Gambar 2.2 Karakteristik sel surya dan Dioda	10
Gambar 2.3 Karakteristik sel surya.....	12
Gambar 2.4 Panel Surya Monokristalin.....	12
Gambar 2.5 Panel Surya Polikristalin	14
Gambar 2.6 Diagram Potongan Panel Surya.....	14
Gambar 2.7 Rangkaian seri Panel Surya.....	18
Gambar 2.8 Kurva I – V Arus.....	19
Gambar 2.9 Kurva I – V Tegangan.....	22
Gambar 2.11 Kurva I – V Sel surya Terhadap Intensitas.....	23
Gambar 2.12 Kurva I –V Sel Surya Pada Perubahan Suhu	24
Gambar 2.13 Pengaruh Koneksi Seri pada Panel Surya	24
Gambar 2.14 Karakteristik V – I Panel Surya.....	33
Gambar 2.15 Rangkaian Seri dan Paralel	36
Gambar 2.16 Inverter.....	37
Gambar 2.17 Solar charge Control.....	38
Gambar 2.18 Baterai	39
Gambar 2.19 Klasifikasi Pompa	41
Gambar 2.20 Pompa kipas, Pompa Screw, Pompa Roda Gigi.....	42
Gambar 2.21 Pompa Reciprocating	43
Gambar 2.22 Pompa Aksial	44
Gambar 2.23 Prinsip Kerja Motor Listrik.....	50
Gambar 2.24 Motor DC	51
Gambar 2.25 Karakteristik Motor DC Shunt	52
Gambar 3.1 Skema Penelitian.....	54
Gambar 3.2 Mesin pompa air Tenaga surya	59
Gambar 3.3 Rangka panel surya	59
Gambar 3.4 Besi perekat.....	60
Gambar 3.5 Panel surya 100 Wp.....	60
Gambar 3.6 Pompa Air DC merek YORK.....	61
Gambar 3.7 Baterai Mobil 50 Ah.....	61
Gambar 3.8 Solar charge control.....	62
Gambar 3.9 SM 206 digital Solar Power Meter.....	62
Gambar 4.1 Desain Pompa Air Tenaga Surya	63
Gambar 4.2 Desain Pompa Air DC.....	70
Gambar 4.3 Grafik pengukuran Tegangan dan Arus	77
Gambar 4.5 Nilai Rata – rata Intensitas cahaya.....	92
Gambar 4.6 Grafik jatuh Tegangan.....	93
Gambar 4.9 Grafik Debit Air	94
Gambar 4.10 Grafik Efisiensi Pompa.....	95

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Panel Surya	13
Tabel 4.1 Data Intensitas Matahari	76
Tabel 4.2 Tegangan dan Arus Pada Sudut Panel Surya	79
Tabel 4.5 Kapasitas Baterai	82
Tabel 4.7 Jatuh Tegangan	85
.....	
Tabel 4.9 Spesifikasi Modul Surya	87
Tabel 4.10 Pengujian Pompa Air	89

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Energi listrik secara teori dalam ilmu fisika menyatakan bahwa jumlah energi dari sebuah sistem tertutup tidak dapat berubah ia akan tetap sama dan energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan oleh manusia, namun ia dapat berubah dari bentuk energi ke energi yang lain, Begitu juga bunyi dari Hukum Termodinamika¹ bahwa Energi dapat berubah ke bentuk yang lain tetapi tidak bisa diciptakan atau dimusnahkan (Konversi Energi). Semakin berkembangnya zaman peradaban manusia penggunaan energi menjadi kebutuhan yang sangat pokok bagi manusia, baik dalam kehidupan sehari – hari dan juga aktivitas produksi, Energi juga menjadi salah satu kekuatan berkembangnya Industri – industri energi di dunia. Sehingga dari bunyi Hukum Termodinamika 1 tersebut energi mengalami perubahan – perubahan bentuk dasar dengan istilah energi terbarukan. Energi Terbarukan ialah Energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan, seperti Tenaga surya, Tenaga angin, Arus Air dan Panas bumi, konsep energi terbarukan mulai dikenal pada tahun 1970, sebagai upaya untuk mengimbangi pengembangan energi nuklir dan fosil. Energi terbarukan yang juga berkelanjutan hal ini dikarenakan tersedianya di alam dalam waktu yang relatif sangat panjang sehingga tidak perlu akan habisnya ketersediaan energi. Pada penulisan skripsi ini penulis akan melakukan eksperimen energi Tenaga Surya.

Selama ini penggunaan energi masih dominan berasal dari energi fosil dan batu bara, namun perlu diketahui bahwa penggunaan energi tersebut jumlahnya terbatas dan bisa habis kapan pun, selain itu penggunaan bahan bakar fosil juga merupakan penyebab utama dari pemanasan global. Negara Indonesia yang berada digaris Khatulistiwa maka sinar matahari di negara Indonesia sangat melimpah, dalam sistemnya matahari bersinar sepanjang tahun sehingga hal ini merupakan keuntungan bagi negara Indonesia untuk mengaplikasikannya. Dalam skala Internasional Tiongkok dan Amerika Serikat memimpin dalam penguasaan Pembangkit Listrik tenaga Surya (PLTS), sementara menurut Direktorat Perencanaan dan Pembangunan Infrastruktur Energi Terbarukan dan Konversi Energi (DPPIETKE) Kementerian ESDM, M.Arifin, bahwa pemanfaatan energi surya di Indonesia baru sebesar 0,05 persen dari potensi yang ada, Sehingga masih banyak tantangan yang harus diselesaikan bersama salah satunya adalah biaya produksi PLTS yang masih tinggi. Sedangkan menurut Laman *Green Match* menyebutkan bahwa energi matahari memiliki dampak paling sedikit terhadap lingkungan dibandingkan sumber energi lainnya, diantaranya tidak menghasilkan gas rumah kaca, tidak mencemari air, membutuhkan sedikit air untuk pemeliharaan serta tidak menimbulkan polusi dan kebisingan, maka penggunaan energi tenaga surya sangat ramah terhadap lingkungan.

Energi tenaga surya adalah energi yang menyerap sinar dan panas matahari, penggunaan energi ini dapat dimanfaatkan secara langsung ataupun

diubah menjadi bentuk energi lain dengan menggunakan teknologi. Secara umum, ada 3 cara pemanfaatan energi surya berdasarkan pemanfaatannya, yaitu :

1. Pemanfaatan sinar radiasi matahari dengan menggunakan teknologi sel surya Fotovoltaik, dimana sinar radiasi matahari diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan sel surya fotovoltaik.
2. Pemanfaatan panas matahari dengan menggunakan teknologi pengumpul panas. Dimana panas matahari diubah menjadi listrik dengan mengumpulkan panas matahari pada sebuah medium yang dipusatkan.
3. Pemanfaatan cahaya dan panas matahari secara langsung. Dimana energi matahari dimanfaatkan apa adanya, tanpa langsung mengkonversikan energi tersebut menjadi listrik dalam penerapannya.

Eksperimen yang dilakukan dalam penelitian ini ialah memanfaatkan Energi tenaga surya untuk menggerakkan pompa air, hal ini dikarenakan pengamatan lapangan masih banyaknya kekurangan ketersediaan air di beberapa di daerah di Indonesia, hal ini juga disebabkan keterbatasan PLN dalam menjangkau daerah – daerah pelosok yang ada di Indonesia, serta mahal nya biaya energi listrik PLN yang membebankan masyarakat. Penggunaan energi Tenaga surya ini sebagai sumber energi untuk menggerakkan pompa air (*Supply energy*) dapat membantu masyarakat begitu juga petani untuk mengatasi persoalan keterbatasan energi listrik, karna semakin banyak nya pengguna Panel surya sehingga mengalami penurunan harga, hal ini juga dikarenakan negara Indonesia merupakan negara tropis dengan tingkat radiasi

yang tinggi sehingga cocok menggunakan Tenaga Surya sebagai sumber Energi.

Tugas akhir ini bertujuan untuk melakukan eksperimen untuk merancang Tenaga Surya dengan teknologi Panel Surya sebagai sumber energi listrik Pompa sebagai solusi untuk mengatasi kurangnya ketersediaan Listrik PLN. Peneliti telah melakukan observasi di daerah Kali ketiwon Kelurahan Dampyak Kabupaten Tegal, dimana ditemukan persoalan kebutuhan air bersih, dimana ada 15 KK diwilayah daerah tersebut yang hanya memanfaatkan air sungai ketiwon, sehingga perlu adanya suatu teknologi yang mempermudah masyarakat sekitar dalam pemenuhan air bersih untuk kebutuhan sehari – hari . Maka peneliti melakukan perancangan Pompa air *Direct Current* (DC) dan teknologi Panel Surya 100 *Watt Peak* (WP), Dengan judul ***EFEKTIVITAS POMPA AIR DIRECT CURRENT (DC) ENERGI SURYA.***

1.2. Batasan Masalah

Batasan masalah pada Kinerja Pompa Air *Direct Current* (DC) Energi Surya.

1. Melakukan Pengambilan data Intensitas Matahari diwilayah Kali Ketiwon Dampyak Kabupaten Tegal.
2. Melakukan Pengujian Sudut Panel surya pada sudut $30^0, 60^0, 90^0$.
3. Melakukan pengambilan data Jatuh Tegangan Panel Surya Pada sudut 60^0
4. Pengujian Pompa Air DC dengan beban 60 watt.

1.3. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah, Bagaimana Kinerja Pompa Air dan panel Surya sebagai sumber energi di konversikan kedalam bentuk energi listrik untuk menggerakkan pompa air?

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah, untuk mengetahui bagaimana karakter kinerja panel surya dan pompa air (DC).

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat Penelitian ini :

1. Mengimplementasikan disiplin ilmu dalam mencari solusi keterbatasan penggunaan energi dalam kehidupan masyarakat.
2. Mengembangkan Teknologi berbasis panel surya dalam ketahanan energi.
3. Sebagai acuan untuk pengembangan dalam skala besar penggunaan energi surya.

1.6. Sistematika Penulisan

Agar penulisan skripsi ini tersusun dengan baik, maka penulis mamaparkan secara umum sistematika penulisan ini sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas tentang Latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini memaparkan dasar – dasar teori secara umum dari masing – masing teori yang berkaitan seperti, Teori Sel surya, Radiasi Matahari, Pompa, Motor Listrik serta teori – teori lainnya yang mendukung.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini membahas tentang bagaimana metode yang dilakukan oleh peneliti tentang eksperimen yang dilakukan dan akan memaparkan dalam tulisan ini tentang, Metode Eksperimen, Waktu dan Tempat Penelitian, Teknik pengambilan Sampel, Variabel Penelitian, Metode Pengumpulan Data dan diagram alur Penelitian.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas hasil penelitian dan pembahasan dan menyajikan hasil – hasil eksperimen yang dilakukan, serta beberapa data yang mendukung hasil penelitian dan pembahasan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini merupakan bab terakhir penulisan skripsi yang berisi tentang kesimpulan hasil penelitian, serta saran peneliti terhadap pembahasan yang dilakukan.

BAB II

LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

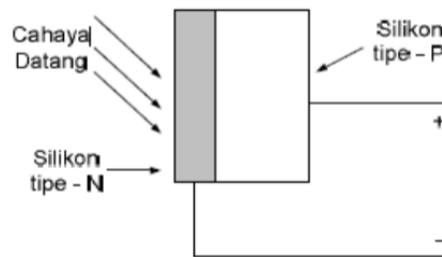
2.1. Landasan Teori

Sel surya atau yang disebut juga (*Photovoltaic*) adalah piranti semikonduktor yang dapat mengubah energi matahari secara langsung menjadi energi DC (*Direct Current*) yang dimaksud DC ialah arus searah dengan menggunakan kristal Si (*Silicon*) yang tipis. Sebuah kristal silindris Si diperoleh dengan cara memansakan Si itu dengan cara memanaskan Si dengan tekanan yang diatur sehingga Si itu berubah menjadi penghantar., bila kristal silindris tersebut dipotong setebal 0,3 mm, maka akan terbentuk sel – sel silikon yang tipis atau yang disebut juga dengan sel surya (*Photovoltaic*). Sel – sel silikon dipasang dengan posisi sejajar / seri dalam sebuah panel yang terbuat dari alumanium atau baja anti karat dan dilindungi oleh kaca atau plastik, kemudia pada tiap – tiap sambungan yang berbeda potensial yang menyatu disebut daerah deplesi (*deplection region*), bila sel – sel itu terkena sinar matahari maka pada sambungan akan mengalir arus listrik, yang besarnya arus / tegangan listrik tergantung pada energi cahaya yang mencapai silikon dan luas permukaan sel tersebut (Afrika Yuana Dewi, 2015).

Ketika seberkas cahaya dikenakan pada logam, ada elektron yang keluar dari permokaan logam, gejala ini disebut sebagai efek fotolistrik. Efek fotolistrik diamati melalui prosedur sebagai berikut :

1. Dua buah plat logam (lempengan logam tipis) yang terpisah ditempatkan di dalam tabung hampa udara, diluar tabung kedua plat ini dihubungkan satu sama lain dengan kawat, mula – mula tidak ada arus yang mengalir karna kedua plat ini terpisah.
2. Ketika cahaya yang sesuai dikenakan kepada salah satu plat arus , listrik terdeteksi pada kawat, ini terjadi akibat adanya elektron – elektron yang lepas dari satu plat dan menuju plat lain secara bersama – sama membentuk arus listrik.

Sigalingging (1994 :1) menyatakan bahwa pada umumnya sel surya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm, yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Wasito (1995 : 164) menyatakan bahwa dioda listrik surya /sel surya merupakan suatu dioda yang dapat merubah energi surya dari matahari langsung menjadi energi listrik. Sel surya biasanya berbentuk pertemuan dioda P – N yang memiliki luas penampang tertentu, sehingga semakin besar arus yang diperoleh. Sel surya dapat menghasilkan beda potensial sebesar 0,5 V DC (dalam keadaan cahaya penuh). Beberapa sel dapat dideretan guna memperoleh tegangan 6, 9, 12, 24 V dan seterusnya, sel surya dapat juga diijarkan guna memperoleh arus keluaran lebih besar. Bahan dasar dari sel surya adalah silikon dimana fosfor digunakan untuk menghasilkan Silikon tipe – N dan boron digunakan sebagai pencemar untuk memperoleh bahan tipe – P, untuk melihat struktur dari sel surya dapat dilihat pada gambar 2.1

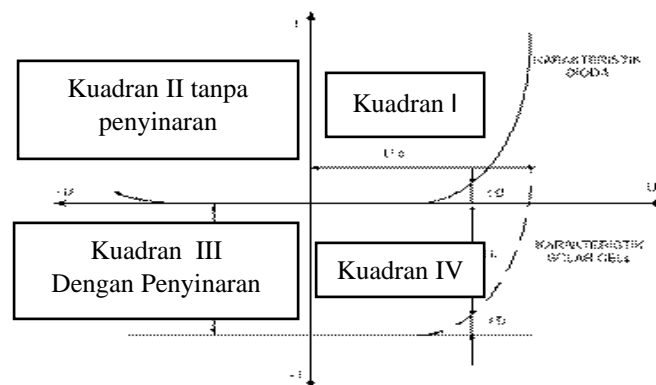


Gambar 2.1 Struktur Sel Surya

(Sumber :http://scholar.google.co.id/scholar?start=sol+surya&hl=as_sdt=0,5)

2.1.1. Karakteristik Sel surya dan Dioda

Sigalingging (1994:10) menyatakan bahwa sel surya pada keadaan tanpa penyinaran, mirip seperti permukaan penyearah setengah gelombang dioda. Ketika sel surya mendapat sinar akan mengalir arus konstan yang arahnya berlawanan dengan arus dioda seperti gambar 2.2



Gambar 2.2 Karakteristik sel surya dan Dioda

(Sumber:http://scholar.google.co.id/scholar?start=sol+surya&hl=as_sdt=0,5)

Dari gambar 2.2 dapat dilihat bahwa grafik sel surya tidak tergantung dari sifat – sifat dioda, jika diselidiki pada kuadran IV akan ditemukan tiga titik penting, yaitu :

1. Tegangan beban nol U_0 diukur tanpa beban tanpa dipengaruhi penyinaran.

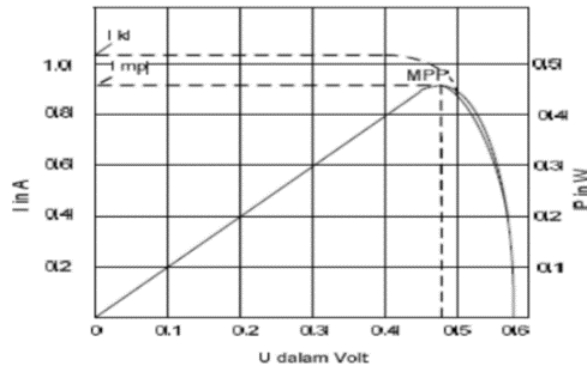
2. Arus hubung singkat IK diukur saat sel hubungan singkat dan disini arus hubung singkat berbanding lurus dengan kuat penyinaran.
3. Titik daya maksimum (*Maximum Power Point* = MPP) dari sel surya didapatkan dari arus dan tegangan yang dibuat pada setiap titik.

Dalam hal U_0 dan IK maksimum, daya yang dihasilkan oleh suatu sel surya sama dengan nol. Pada suatu titik tertentu daya sel surya mencapai titik maksimum dan titik ini disebut dengan titik MPP (*Maximum Power Point*), yang pada prakteknya selalu diusahakan agar pemakaian berpatokan dari titik MPP ini. Keadaan ini dapat dilihat pada gambar 2.3 Konversi energi dari sel surya ke konsumen akan maksimum apabila tahanan pemakaian (R_L) dan tahanan sel surya memenuhi persamaan, berikut :

$$R_L = R_i$$

R_L = Tahan pemakaian.

Keadaan ini pada teknik listrik disebut dengan istilah beban pas, dengan bantuan pengubah tegangan searah khusus atau sering disebut MPT (*Maximum Power Tracker*) memungkinkan beban pas ini tercapai.



Gambar 2.3 (Karakteristik sel surya Monokristal dengan luas 40 cm pada penyinaran 1000 W/m^2)

(Sumber
[:http://scholar.google.co.id/scholar?start=sel+surya&hl=as_sdt=0,5](http://scholar.google.co.id/scholar?start=sel+surya&hl=as_sdt=0,5))

2.1.2. Panel Surya

Panel surya adalah salah satu jenis teknologi energi terbarukan karena hanya memanfaatkan sumber energi dari radiasi matahari dan mengubahnya menjadi bentuk energi listrik. Panel surya juga merupakan jenis energi yang ramah lingkungan dan sangat menjanjikan pada masa yang akan datang, keramahannya terhadap lingkungan bisa dilihat tidak adanya polusi yang dihasilkan selama proses konversi energi serta berlimpahnya sumber energi matahari adalah alasan mengapa panel surya mulai berkembang dan bahkan hampir setiap negara bahkan perusahaan – perusahaan besar menerapkan panel surya. Panel surya yang saat digunakan memiliki jenis dan karakteristik yang berbeda, panel surya yang sangat umum digunakan oleh masyarakat ialah jenis panel surya *Monocrystalline* dan *Polycrystalline*.

Jenis Panel surya Monokristalin merupakan panel surya yang dianggap paling efisien, karna dapat menghasilkan daya listrik dengan persatuan luas yang paling tinggi serta memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan panel jenis ini adalah tidak dapat berfungsi dengan baik ditempat cahaya mataharianya kurang. Efisiensi panel surya ini akan menurun secara drastis dalam cuaca berawan.



Gambar 2.4 Jenis Panel surya Monokristalin 100 Watt Peak
(Sumber : <http://panelsuryajakarta.com/panel-surya-100-watt-Peak-greentek-monocrystalline/>)

Sedangkan Panel surya jenis Polikristalin memiliki susunan kristal yang acak. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan Monokristalin jika untuk menghasilkan listrik yang sama. Akan tetapi, jenis panel surya tetap menghasilkan listrik dalam kondisi cuaca bahkan pada saat mendung sekalipun.



Gamabar 2.5 Jenis panel surya Polikristalin
(Sumber : <http://panelsuryajakarta.com/panel-surya-100-wp-greentek-polycrystalline/>)

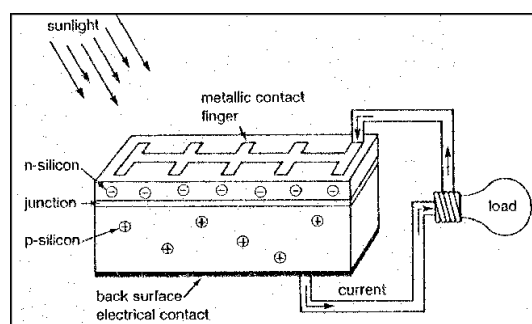
Jika berbicara panel surya, tentu yang akan sangat berpengaruh adalah iklim. Iklim inilah yang kemudian menjadi penentu cocok atau tidaknya panel surya disuatu wilayah. Untuk indonesia sendiri meskipun berada pada titik equador dan mendapatkan sinar matahari yang panjang tiap tahunnya Indonesia tetap menjadi negara tropis. Dimana ciri negara tropis selain mendapat paparan sinar matahari yang tinggi, juga mendapatkan curah hujan yang tinggi pula, bahkan beberapa titik timur Indonesia merupakan salah satu tempat terbasah didunia.

Oleh karna itu pemilihan jenis panel surya yang paling cocok adalah Polikristalin, meskipun efesiensi jenis Polikristalin lebih rendah dari Monokristalin pada saat kondisi matahari terik, tetapi efesiensi Polikristalin akan tetap stabil pada cuaca berawan atau mendung, Selain itu harga panel surya untuk rumah tangga jenis ini juga relatif dapat dijangkau oleh masyarakat luas.

Tabel 2.1 Perbandingan Spesifikasi Panel Surya

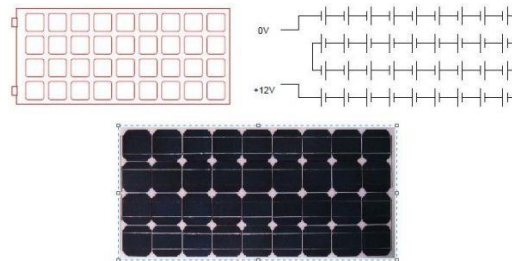
Jenis	Efisiensi perubahan daya	Daya tahan	Biaya	Penggunaan
Mono	Sangat baik	Sangat baik	Baik	Sehari – hari
Poli	Baik	Sangat baik	Sangat baik	Sehari – hari

Panel surya terdiri dari 2 lapisan semi – konduktor. Satu lapisan yang mengandung muatan positif, muatan yang lain negatif. Sinar matahari terdiri dari partikel kecil dari energi matahari yang disebut Foton, saat Panel surya terkena matahari banyak foton yang tercermin, menembus, atau diserap oleh Panel surya. Ketika Foton yang diserap oleh lapisan negatif dari Panel surya sudah mencukupi, elektron dibebaskan secara alami bermigrasi ke lapisan positif menciptakan suatu tegangan yang berbeda, ketika 2 lapisan yang terhubung ke beban eksternal, elektron mengalir melalui sirkuit menciptakan listrik.



Gambar 2.6 Diagram Potongan Panel surya

(Sumber : https://www.researchgate.net/figure/Gambar-1-Diagram-dari-sebuah-potongan-Sel-Surya-PV-sel_fig1_43329650)



Gambar 2.7 Modul 28 – 36 Panel surya rangkaian seri untuk memperbesar daya aouput

(Sumber : <https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/>)

Karakteristik besarnya tegangan dan arus yang dapat dikeluarkan oleh panel surya tergantung intensitas cahaya matahari dan suhu pada panel surya. Untuk meningkatkan output daya, panel surya digabungkan dalam paket yang disebut modul Panel surya. Modul – modul ini kemudian dihubungkan secara serial atau paralel satu sama lain, kedalam apa yang disebut *array* Panel surya untuk menciptakan tegangan yang diinginkan dan arus keluaran yang diperlukan. Untuk mendapatkan daya yang lebih besar dapat dilakukan pemasangan secara seri atau paralel pada modul panel surya. Jika dipasang secara seri akan meningkatkan tegangan keluaran panel surya dan jika dipasangkan secara paralel maka akan meningkatkan arus keluaran pada panel surya.

2.1.2.1 Semi Konduktor

Semikonduktor mempunyai susunan pita energi yang mirip dengan pita energi isolator. Pada suhu sangat rendah, pita konduksi semikonduktor tidak terisi oleh elektron. Diantara pita konduksi dan valensi juga terdapat celah energi. Namun, celah terlarang ini

mempunyai jarak yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan celah terlarang pada isolator. Nilai celah terlarang untuk semikonduktor adalah sekitar 1,1 eV sedangkan pada isolator adalah sebesar 6 eV. Pada suhu kamar, elektron yang ada pada pita valensi akan mendapatkan energi kinetik. Energi kinetik ini cukup kuat untuk memindahkan elektron ke pita konduksi. Akibatnya, pada suhu kamar tersebut maka semikonduktor mampu mengeluarkan arus listrik seperti halnya pada konduktor.

2.1.2.2 Efek Foto Listrik

Efek fotolistrik adalah peristiwa terlepasnya elektron – elektron dari permukaan logam yang disebut sebagai elektron foto, ketika logam tersebut disinari dengan cahaya. Rumus energi berdasarkan teori kuantum adalah sebagai berikut :

$$E = n \cdot h \cdot f$$

Dengan demikian, cahaya dipancarkan sebagai partikel – partikel kecil yang disebut *Foton*. Jika tabung – tabung ditempatkan dalam ruang gelap, maka tidak akan ada arus listrik (*I*) yang mengalir. Tapi ketika cahaya dengan frekuensi lain yang memiliki frekuensi ambang sekecil mungkin. Intensitas cahaya yang dihasilkan oleh tabung katoda cukup setara dengan intensitas cahaya matahari yang sebesar 560 W/m², namun dengan frekuensi yang sangat tinggi. Hal ini akan berdampak pada dihasilkannya

daya output dari sel surya yang tinggi. Selain itu, ada beberapa hal yang perlu diperbaiki, yakni :

- 1) Filame pemanas berfungsi untuk memanasi ujung katoda perlu dipercepat dengan memberikan suatu beda potensial dari 50 Kv sampai 5000 Kv DC diantara katoda dan anoda.
- 2) Material yang digunakan sebagai katoda adalah campuran antara tungsten dan thorium, karena memiliki kekuatan menarik yang bagus, titik lebur yang tinggi, fungsi kerja yang tinggi serta memerlukan daya input yang lebih kecil.

Material penyusun semikonduktor dalam splar sel surya yang umum adalah InAs : 0,36 Ev, Ge, 0.67 Ev, Si, 1,1 Ev, *amorphous* Si (a –Si :H) 1,7 Ev, GaN :3.5 Ev). Berdasarkan pada fungsi kerja material tersebut, maka material yang cocok adalah InAs: 0,36. Sel surya dengan material InAs ini diharapkan akan mampu menghasilkan energi listrik yang lebih besar bila dibandingkan dengan sel surya berbahan silikon.

Apabila dikaji lebih jauh, efek fotolistrik ini maka ada dua sifat penting dari gelombang cahaya, yakni intentitas cahaya dan frekuensi. Beberapa sifat penting yang terjadi pada efek fotolistrik adalah sebagai berikut :

- 1) Besarnya energi kinetik maksimum elektron foto tidak tergantung pada intentitas cahaya.

- 2) Permukaan dari sel surya membutuhkan frekuensi minimum tertentu yang disebut frekuensi ambang (f_0) untuk dapat menghasilkan elektron foto.
- 3) Elektron – elektron dapat terbebas dari permukaan sel surya hampir tanpa selang waktu, yaitu kurang dari 10^{-9} detik setelah penyinaran.
- 4) Energi kinetik maksimum elektron foto bertambah jika frekuensi cahaya diperbesar.
- 5) Semua foton memiliki energi yang sama besar sebesar hf , sehingga apabila intensitas cahaya dinaikkan namun dengan frekuensi yang tetap akan menambah jumlah foton, tetapi tidak menambah energi yang dipancarkan.

Agar terjadi aliran listrik berpindahanya elektron dari permukaan sel surya, maka diperlukan kerja minimum W_0 tergantung pada jenis logam yang dipakai sebagai bahan sel surya. Agar terjadi arus listrik yang kontinu maka frekuensi yang dipancarkan oleh cahaya haruslah sedemikian rupa sehingga $hf > W_0$, keterangan :

W_0 = Fungsi kerja atau energi ambang (Joule)

h = Konstanta Planck

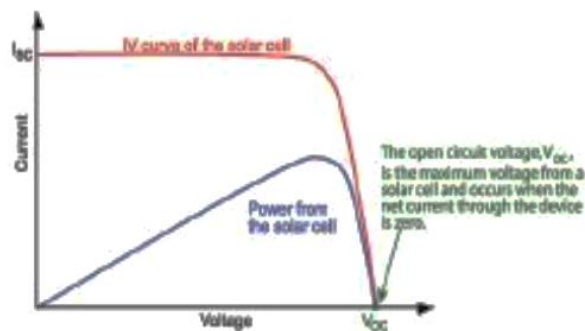
m = Massa elektron

v = Kecepatan elektron (m/s)

f_0 = Frekuensi ambang (Hertz)

2.1.2.3 Arus *Short Circuit* (I_{sc})

Arus *Short Circuit* adalah arus yang diukur ketika tegangan dari solar sel bernilai nol dan solar sel dalam keadaan *dishort*. Ini terjadi ketika jumlah *carier* yang dikumpulkan pada PN –*Junction* bergerak kerangkaian luar, sehingga bisa dikatakan bahwa arus *short circuit* adalah arus maksimum yang dapat dihasilkan oleh solar sel.



Gambar 2.8 Kurva I –V solar sel yang menunjukkan arus *Short Circuit*

(Sumber: http://scholar.google.co.id/scholar?start=sol+surya&hl=as_sdt=0,5)

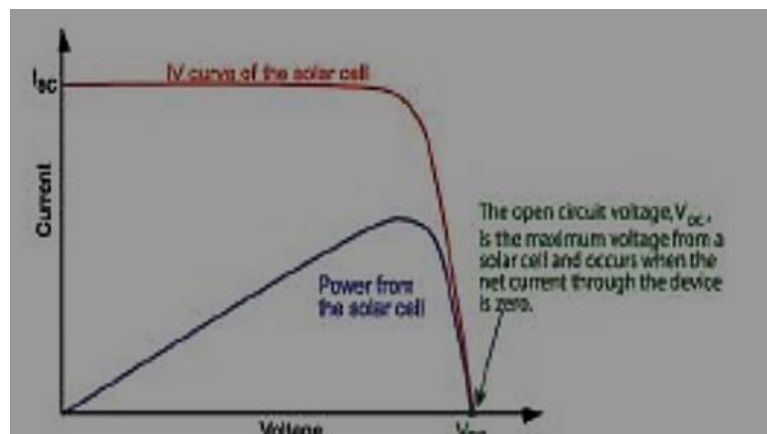
Arus solar sel tergantung pada beberapa faktor diantaranya

(*Device Honsberg*) :

- 1) Luas dari solar sel
- 2) Jumlah Foton yaitu daya dari sumber cahaya yang jatuh, I_{sc} dari solar sel secara langsung bergantung pada intensitas cahaya.
- 3) Sifat optikal penyerapan dan pemantulan solar sel
- 4) Probabilitas pengumpulan solar sel, yang bergantung terutama pada *surface passivation* dan *lifetime* dari *minority carrier* pada base

2.1.2.4 Tegangan *Open Circuit* (V_{oc})

Tegangan *open circuit* adalah tegangan yang diukur ketika rangkaian solar sel dalam keadaan terbuka, sehingga tidak ada arus yang mengalir ke rangkaian luar, dan arus bernilai nol. Tegangan *open circuit* ini merupakan tegangan terbesar yang dibangkitkan oleh suatu solar sel.



Gambar 2.9 Kurva I –V solar sel menunjukkan tegangan *open circuit* (Sumber: http://scholar.google.co.id/scholar?start=sol+surya&hl=as_sd t=0,5)

Keterangan : I_L dan I_0 = Adalah arus yang dibangkitkan cahaya dan arus saturasi dioda.

2.1.3 Energi Matahari

Matahari memasok energi kedalam bentuk radiasi, Tanpa radiasi dari matahari, maka kehidupan bumi tidak akan berjalan. Setiap tahunnya ada sekitar 3.9×10^{24} Joule – 1.08×10^{18} kWh energi matahari yang mencapai permukaan bumi, ini berarti energi yang diterima bumi dari matahari adalah 10.000 kali lebih banyak dari permintaan energi primer secara global tiap tahunnya dan lebih banyak dari cadangan ketersediaan

keseluruhan energi yang ada di bumi. Intensitas matahari diluar atmosfer bumi tergantung pada jarak antara bumi dan matahari, sepanjang tahun, jarak antara bumi dan matahari bervariasi antara 1.47×10^8 KM sampai 1.52×10^8 KM. Akibatnya *irradiance* G_{SC} berfluktuasi antara 1.325 W/m^2 sampai 1412 W/m^2 . Nilai rata – rata dari *irradiance* ini disebut dengan *solar constant* (konstanta surya), konstanta surya $G_{SC} = 1.367 \text{ W/m}^2$.

Nilai konstan ini bukanlah besarnya radiasi yang sampai di permukaan bumi. Atmosfer bumi mereduksi atau mengurangi radiasi matahari tersebut melalui proses pemantulan, penyerapan oleh ozon, uap air, oksigen dan karbondioksida, dan penghamburan oleh molekul, molekul udara, partikel debu atau polusi. Untuk cuaca yang cerah pada siang hari, *irradiant* yang mencapai permukaan bumi adalah 1.000 W/m^2 . Nilai ini relatif terhadap lokasi, Insolasi energi radiasi maksimum terjadi pada hari yang cerah namun berawan sebagian, ini karena pemantulan radiasi matahari oleh awan sehingga insolasi energi radiasinya dapat mencapai 1.400 W/m^2 untuk periode yang singkat. Pancaran matahari merupakan radiasi elektromagnetik yang luar biasa banyak. Dalam kaitannya dengan sel surya yaitu perangkat pengkonversi radiasi matahari menjadi listrik, terdapat dua parameter penting dalam energi surya, yaitu pertama intensitas radiasi, yaitu jumlah daya matahari yang datang kepada permukaan per luas area, dan karakteristik spektrum cahaya matahari.

Energi surya terpancarkan hingga ke bumi berupa paket – paket energi yang disebut *foton*. Total kekuatan radiasinya mencapai $3.83 \times$

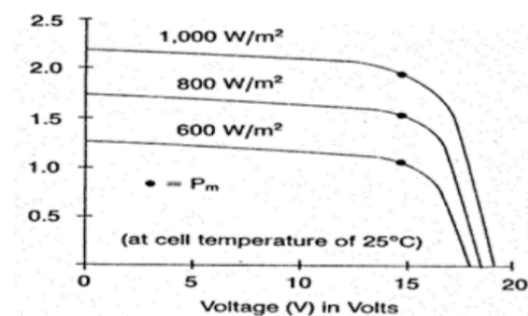
1023 kilowat (Kw). Namun demikian sebagian besar dari radiasi ini hilang diangkasa. Radiasi surya dipancarkan dari fotoshpere matahari pada temperatur 6000 K, yang memberikan disteribusi *spektrum black body*. Dengan melalui atmosfer bumi, radiasi surya diatenuisikan oleh berbagai partikel diantaranya molekul udara, aerosol, partikel debu.

2.3.1.1 Hubungan Matahari dan Bumi

Matahari adalah suatu bola pejal yang terbentuk dari material bersifat gas yang sangat panas. Diameter matahari $1.39 \times 10^9 \text{m}$ dan jarak rata – rata matahari dari bumi adalah $1.5 \times 10^{11} \text{m}$. Temperatur dibagian pusat sekitar 8×10^6 hingga 10^6K dan massa jenisnya sekitar seratus (100) kali berat jenis air. Matahari merupakan efek reaksi fusi yang terjadi secara terus – menerus dengan komponen gas – gas nya berada pada suatu wadah penampung. Energi thermal dari cahaya matahari adalah jenis energi yang terbarukan. Panjang gelombang radiasi matahari yang diterima dipermukaan bumi berada pada daerah 0.29 sampai $2.5 \mu\text{m}$. Emisi radiasi matahari ke bumi menghasilkan intentitas radiasi surya yang hampir tetap diluar atmosfer bumi. *Solar Constan* $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$. *World Radiation center* (WRC) merupakan energi dari matahari setiap satuan waktu yang diterima satuan area permukaan tegak lurus dengan arah perembatan radiasi pada jarak rata – rata bumi – matahari, diluar atmosfer.

2.3.1.2 Efek Perubahan Intensitas Cahaya Matahari

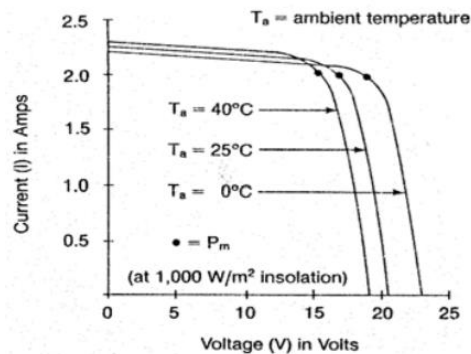
Apabila jumlah energi cahaya matahari yang diterima sel surya berkurang atau intensitas cahayanya melemah seperti gambar 3.0 maka besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun. Penurunan tegangan relatif lebih kecil dibandingkan penurunan arus listriknya.



Gambar 2.10 Kurva tegangan – arus sel surya terhadap intensitas
(Sumber: http://scholar.google.co.id/scholar?start=sol+surya&hl=as_sdt=0,5)

2.3.1.3 Efek Perubahan Suhu pada Sel Surya

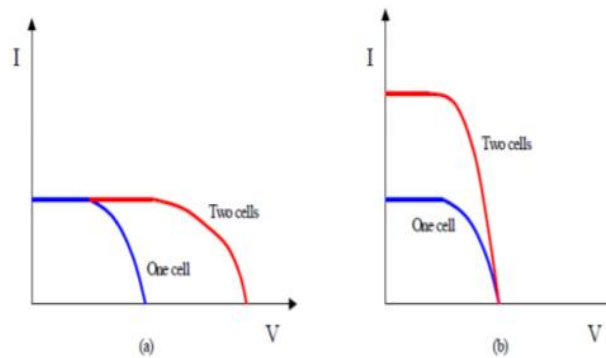
Sel surya akan bekerja secara optimal pada suhu konstan yaitu $25^{\circ}C$. Jika suhu disekitar sel surya meningkatkan melebihi $25^{\circ}C$, maka akan mempengaruhi *fill factor* sehingga tegangan akan berkurang seperti gambar 3.1. Selain itu efisiensi sel surya juga akan menurun beberapa persen, sedangkan sebaliknya, arus yang dihasilkan akan meningkatnya suhu pada sel surya.



Gambar 2.11 Kurva tegangan – arus pada sel surya terhadap perubahan suhu
(Sumber: http://scholar.google.co.id/scholar?start=sel+surya&hl=as_sdt=0,5)

2.3.1.4 Koneksi Antara Modul Surya

Sebuah sel surya memiliki keterbatasan dalam menyuplai daya, sehingga dalam aplikasi, sel surya jarang digunakan secara individual. Pada umumnya sel – sel yang identik dihubungkan secara seri dalam membuat sebuah modul agar tegangan yang dihasilkan sel surya lebih besar dengan tegangan total sebesar $V_{oc1} + V_{oc2}$. Namun arus yang dihasilkan tetap berdasarkan hukum *Kirchoff*. Sedangkan bila dua modul surya dirangkai secara paralel, besarnya tegangan yang dihasilkan adalah tetap dengan arus total sebesar $I_1 + I_2$, berdasarkan hukum *Kirchoff*. Pengaruh koneksi seri – paralel pada modul surya terhadap kurva $V - I$ dapat dilihat pada gambar 3.2.

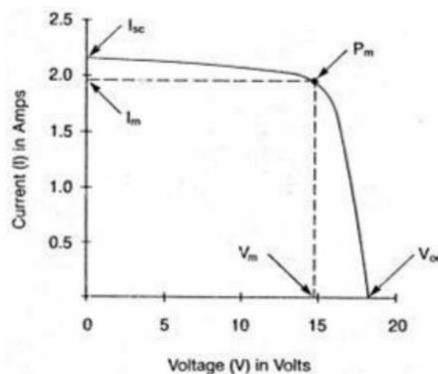


Gambar 2.12 Pengaruh Koneksi seri dan pararel modul surya terhadap kurva karakteristik I –V

(Sumber: http://scholar.google.co.id/scholar?start=sol+surya&hl=as_sdt=0,5)

2.3.1.5 Karakteristik Tegangan – Arus pada sel Surya

Penggunaan tegangan dari sel surya bergantung dari bahan semikonduktor yang digunakan, jika menggunakan bahan silikon, maka tegangan yang dihasilkan dari setiap sel surya berkisar 0.5 V. Modul surya merupakan gabungan beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri dan pararel sehingga memiliki karakteristik seperti gambar 3.3 Tegangan yang dihasilkan dari sel surya bergantung pada radiasi cahaya matahari. Untuk arus yang dihasilkan sel surya bergantung pada kuat cahaya matahari, seperti pada cuaca cerah dan mendung.



Gambar 2.13 Kuva Karakteristik V – I pada sel surya
(Sumber: http://scholar.google.co.id/scholar?start=sur+surya&hl=as_sdt=0,5)

2.1.4 Photovoltaic

Panel *photovoltaic* (PV panel) adalah sumber listrik tenaga surya, material semi konduktor yang mengubah secara langsung energi sinar matahari menjadi energi listrik. Daya listrik yang dihasilkan PV berupa daya DC, istilah *photovoltaic* ini telah digunakan dalam Bahasa Inggris sejak tahun 1849, tenaga listrik dari cahaya matahari pertama kali ditemukan oleh Alexandre – Edmund Becquerel seorang ahli fisika Prancis pada tahun 1839. Temuannya ini merupakan cikal bakal teknologi solar cell, Percobaannya dilakukan dengan menyinari 2 elektroda dengan berbagai macam cahaya. Elektrode tersebut dibalut (*coated*) dengan bahan yang sensitive dengan cahaya, yaitu AgCl dan AgBr dan dilakukan pada kotak hitam yang dikelilingi dengan campuran asam. Dalam percobaannya ternyata tenaga listrik meningkat manakala intensitas cahaya meningkat. Selanjutnya peneliti dari Becquerel dilanjutkan oleh peneliti – peneliti lain. Tahun 1873 seorang insinyur Willoughby Smith menemukan Selenium

sebagai suatu elemen *photo conductivity*. Kemudian tahun 1876, William Grylls dan Richard Evans Day membuktikan bahwa Selenium menghasilkan arus listrik apabila disinari dengan cahaya matahari. Hasil penemuan mereka menyatakan bahwa Selenium dapat mengubah tenaga matahari secara langsung menjadi energi listrik tanpa ada bagian bergerak atau panas. Sehingga disimpulkan bahwa *solar cell* sangat tidak efisien dan tidak dapat digunakan untuk menggerakkan peralatan listrik.

Tahun 1894 Charles Fritts membuat *solar cell* pertama sesungguhnya yaitu suatu bahan semi konduktor dilapisi dengan lapisan tipis emas. Tingkat efisiensi yang dicapai baru 1% sehingga belum juga dapat dipakai sebagai sumber energi, namun kemudian dipakai sebagai sensor cahaya. Tahun 1905 Albert Einstein mempublikasi tulisannya mengenai *photoelectric effect*. Tulisannya ini mengungkapkan bahwa cahaya terdiri dari paket – paket yang sekarang ini lazim disebut “foton”. Teorinya ini sangat sederhana tapi revolusioner. Kemudian tahun 1916 pendapat Einstein mengenai *photoelectric effect* dibuktikan oleh percobaan Robert Andrew Milikan seorang ahli fisika berkebangsaan Amerika dan ia mendapatkan *Nobel Prize* untuk karya *photoelectric effect*. Tahun 1982, Hans Tholstrup seorang Australia mengendarai mobil bertenaga surya untuk pertama kalinya jarak 4000 km dalam waktu 20 hari dengan kecepatan maksimum 72 km/jam. Tahun 1985 University Of South Wales Australia memecahkan rekor efisiensi solar cell mencapai 20% dibawah kondisi matahari. Tahun 2007 University of Delaware berhasil

menemukan solar cell teknologi yang efesiensinya 42.8 %. Hal ini merupakan rekor terbaru untuk “*thin film photovoltaic cell*”. Perkembangan dalam riset solar cell telah mendorong komersialisasi dan produksi solar cell untuk penggunaanya sebagai sumber daya listrik (Gunadarma, 2014).

Pengembangan sel surya semakin banyak menggunakan bahan semikonduktor yang bervariasi dan silikon yang secara individu (chip) banyak digunakan, diantaranya :

1. *Mono – crystalline* (Si), dibuat dari silikon kristal tunggal yang datang dari peleburan silikon dalam bentuk bujur, sekarang *Mono -crystalline* dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efesiensi sekitar 24%
2. *Polycrystalline* (Si), dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul diatas lapisan silikon. Sel ini kurang efektif dibandingkan dengan sel *polycrystalline* (efektivitas 18 %)

2.1.5 Perpindahan Kalor.

Perpindahan kalor atau (*heat transfer*) adalah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karna adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Dari termodinamika telah kita ketahui bahwa energi yang dipindah itu dinamakan kalor (*heat*). Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari suatu benda ke benda lain, tetapi juga dapat

meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi – kondisi tertentu, kenyataan di sini yang menjadi sasaran analisis ialah masalah laju perpindahan, inilah yang membedakan ilmu perpindahan kalor dari ilmu termodinamika. Termodinamika membahas sistem dalam keseimbangan, ilmu ini dapat digunakan meramal energi yang diperlukan untuk mengubah sistem dari suatu keadaan seimbang ke keadaan seimbang lain, tetapi tidak dapat meramalkan kecepatan perpindahan itu, hal ini disebabkan karena pada waktu proses perpindahan itu berlangsung, sistem tidak berada dalam keadaan seimbang. Ilmu perpindahan kalor melengkapi hukum pertama dan kedua termodinamika, yaitu memberikan beberapa kaidah percobaan yang dapat dimanfaatkan untuk menentukan perpindahan energi, sebagaimana juga dalam ilmu termodinamika, kaidah – kaidah percobaan yang digunakan dalam masalah perpindahan kalor cukup sederhana, dan dapat dengan mudah dikembangkan sehingga mencakup berbagai ragam situasi praktis (Holman 1983).

2.1.5.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan tenaga sebagai kalor melalui sebuah proses medium stasioner, seperti tembaga, air, udara. Didalam benda – benda padat maka perpindahan tenaga timbul karna atom – atom tersebut dapat memindahkan tenaga kepada atom –atom pada temperatur yang lebih tinggi bergetar dengan lebih bergairah, sehingga atom – atom tersebut dapat memindahlan tenaga kepada atom –atom yang lebih

lesu yang berada didekatnya dengan kerja mikroskopik, yakni kalor. Didalam logam – logam, elektron – elektron bebas juga membuat kontribusi kepada proses hantaran kalor. Didalam sebuah cairan gas, molekul – molekul juga mudah bergerak, dan tenaga juga dihantarkan oleh tumbukan – tumbukan molekul.

Mekanisme konduksi termal pada gas cukup sederhana, energi kinetik molekul ditunjukkan oleh suhunya, jadi pada bagian bersuhu tinggi molekul – molekul mempunyai kecepatan yang lebih tinggi dari pada yang berada dalam gerak dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah, maka molekul bergerak mengangkut energi kinetik ke bagian sistem yang suhunya lebih rendah, dan disini menyerahkan energinya pada waktu bertumbukkan dengan molekul – molekul yang energinya lebih rendah. Jika aliran kalor dinyatakan dalam bentuk watt, satuan untuk konduktivitas termal itu ialah watt per meter derajat celcius, nilai konduktivitas termal menunjukkan beberapa cepat kalor mengalir dalam bahan tertentu.

2.1.5.2 Perpindahan Kalor Radiasi

Perpindahan kalor radiasi adalah perpindahan tenaga oleh penjalaran (rambatan) foton yang tak terorganisir, setiap benda terus memancarkan foton – foton secara serampangan didalam arah dan waktu, dan tenaga netto yang dipindahkan oleh foton – foton ini diperhitungkan sebagai kalor. Bila foton – foton ini berada di dalam jangkauan panjang gelombang 0,38 sampai 0,76 μm , maka foton – foton tersebut mempengaruhi mata kita sebagai sinar cahaya yang tampak. Bertentangan dengan itu , maka setiap tenaga foton yang terorganisir, seperti transmisi radio, dapat diidentifikasi secara mikroskopik dan tak dipandang sebagai kalor. Bila foton – foton mencapai permukaan lain, maka foton – foton tersebut baik diserap, direfleksikan, maupun diteruskan melalui permukaan tersebut. Tiga sifat – sifat permukaan yang mengukur kuantitas – kuantitas ini adalah :

- a. Absorotivitas, bagian radiasi yang masuk yang diserap
- b. Reflektivitas, bagian radiasi yang masuk yang direfleksikan
- c. Transmitivitas, bagian radiasi yang masuk yang ditransmisikan

2.1.5.3 Perpindahan Kalor Konveksi

Bila sebuah fluida lewat di atas sebuah permukaan padat panas, maka tenaga dipindahkan kepada fluida dari dinding oleh pansa hantaran. Tenaga ini kemudian diangkut atau dikonveksikan

(*convected*), ke hilir oleh fluida, dan didifusikan melalui fluida oleh hantaran didalam fluida tersebut. Jenis proses perpindahan tenaga ini dinamakan perpindahan tenaga konveksi (*Convection heat transfer*).

Jika proses aliran fluida tersebut diinduksasikan oleh sebuah pompa atau sistem pengedar (*Circulang system*) yang lain, maka digunakan istilah konveksi yang dipaksakan (*forced convection*). Bertentangan dengan itu, jika aliran fluida timbul karena daya apung fluida yang disebabkan oleh pemanasan, maka proses tersebut dinamakan konveksi bebas atau konveksi alami.

2.1.6 Potensi Matahari Di Indonesia

Indonesia merupakan daerah sekitar khatulistiwa dan daerah tropis dengan luas daratan hampir 2 juta km², dikaruniai penyinaran matahari lebih dari 6 jam sehari atau 2.400 jam dalam setahun. Pada cuaca cerah permukaan bumi menerima sekitar 1000Wh /m² (Damastuti).

Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi listrik di Indonesia ditargetkan akan mencapai 25 MW pada tahun 2020, selain untuk memenuhi listrik pedesaan, energi surya diharapkan juga mampu berperan sebagai salah satu sumber energi alternatif di wilayah perkotaan, yang dimanfaatkan untuk lampu penerangan jalan, penyediaan listrik untuk rumah, sarana umum, sarana pelayanan, hingga pompa air (*Solar power supply for water pump*) yang digunakan untuk pengairan irigasi atau sumber air bersih.

Adapun beberapa keuntungan menggunakan energi matahari di Indonesia, antara lain (Damastuti, 2011) :

- a. Sumber energi tersedia sepanjang tahun dan gratis
- b. Bebas polusi udara
- c. Tidak memerlukan sistem transmisi yang rumit
- d. Tidak menyebabkan efek pemanasan global
- e. Umur pakai panjang, kurang lebih 20 tahun
- f. Perawatan sangat mudah dan hampir tanpa biaya.

2.1.7 Teori Dasar Kelistrikan

Komponen sebuah rangkaian listrik atau rangkaian elektronik dapat dihubungkan dengan berbagai cara, dua tipe paling sederhana adalah rangkaian seri dan rangkaian paralel. Rangkaian yang disusun secara sejajar disebut rangkaian seri, sedangkan rangkaian yang disusun secara berderet disebut rangkaian paralel. Komponen yang tersusun seri akan terhubung melalui satu jalur, sehingga aliran arus listrik akan mengalir ke semua komponen, Pada rangkaian paralel tegangan yang melewati tiap komponen adalah sama, dan total arus adalah jumlah arus yang melewati tiap komponen. Gabungan antara rangkaian seri dan paralel disebut rangkaian seri paralel atau juga disebut dengan rangkaian campuran atau rangkaian kombinasi.

1. Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir dari suatu titik yang berpotensi tinggi ke titik yang berpotensi rendah dalam waktu satu detik, dengan simbol (I) dan terbagi menjadi arus listrik searah

(DC) dan arus listrik bolak – balik (AC), dengan persamaan :

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = I_r$$

2. Resistor adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk menghambat atau membatasi aliran listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian elektronika.

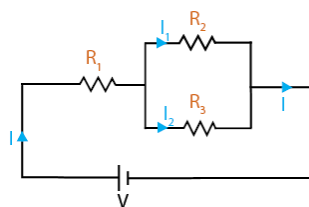
$$R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

3. Induktor atau reactor adalah sebuah komponen elektronika pasif (kebanyakan berbentuk torus) yang dapat menyimpan energi pada medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melintasinya.

$$L_{\text{total}} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

4. Kapasitor adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal muatan listrik.

$$\frac{1}{C_{\text{Total}}} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \dots + \frac{1}{c_n}$$



Gambar 2.14 Rangkaian gabungan seri dan paralel
(Sumber: <https://id.m.wikipedia.org/wiki/rangkaianseripararel>)

2.1.8 Perhitungan Daya masuk dan Daya Keluaran

Sebelum mengetahui berapa nilai daya sesaat yang dihasilkan, terlebih dahulu harus mengetahui daya yang diterima (daya input), dimana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang

diterima dengan luas area PV module dengan persamaan (Muchammad dan Eflita Yohanna, 2010).

$$P_{in} = I_r \times A$$

P_{in} : Daya input akibat irradiance matahari (Watt)

I_r : Intensitas radiasi matahari (Watt/ m²)

A : Luas area permukaan photovoltaic module (m²)

Sedangkan untuk besarnya daya pada solar sel (P_{out}) yaitu perkalian tegangan terbuka (V_{oc}), arus hubung singkat (I_{sc}) dan *Fil Factor* (FF) yang dihasilkan oleh sel *photovoltaic* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut persamaan (Muchammad dan Eflita Yohanna, 2010).

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

Keterangan :

P_{out} : Daya yang dibangkitkan oleh solar sel (Watt)

V_{oc} : Tegangan rangkaian terbuka pada solar sel (Volt)

I_{sc} : Arus hubung singkat pada solar sel (Ampere)

FF : *Fill Factor*

Nilai FF dapat diperoleh dari rumus :

$$FF = V_{oc} + 1$$

Sedangkan efisiensi yang terjadi pada sel surya adalah merupakan perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari *Irradiance* matahari. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaar pada pengambilan data.

η Sesaat	: Efesiensi Solar cell %
I_r	: Intensitas radiasi matahari (Watt/m^2)
P	: Daya output yang dibangkitkan oleh solar sel (Watt)
A	: Luas area permukaan module photovoltaic (m^2)

2.1.9 Komponen pendukung Teknologi solar sel

1. Inverter

Pengertian Inverter termasuk rangkaian elektronika daya yang biasanya berfungsi untuk melakukan konversi atau mengubah tegangan DC (searah) menjadi tegangan AC (bolak-balik). Inverter Sebenarnya adalah kebalikan dari converter atau yang lebih dikenal dengan adaptor yang memiliki fungsi mengubah tegangan AC (bolak-balik) menjadi tegangan DC (searah). Seperti yang kita ketahui, saat ini telah ada beberapa topologi inverter yang tersedia, dimulai dari jenis inverter yang memiliki fungsi hanya dapat menghasilkan tegangan bolak balik saja atau push pull inverter hingga dengan inverter dengan kemampuan hasil tegangan sinus murni tanpa efek harmonisasi. Yang terakhir ada jenis inverter yang digolongkan menjadi beberapa jenis inverter berdasarkan fasa, yaitu 1 fasa 3 fasa hingga multi fasa. Adapun Cara kerja inverter ini yaitu inverter dapat melakukan perubahan yakni mengubah input motor tenaga listrik AC menjadi tegangan listrik DC, kemudian dipecah lagi menjadi AC dan frekuensi, sehingga motor listrikmuang digunakan dapat dikontrol sesuai kecepatan yang

dikehendaki. Perlu anda ketahui bahwa ada cukup banyak beberapa teknik yang kendali yang bisa digunakan untuk menjaga inverter agar dapat menghasilkan sinyal sinusoidal. Cara yang sering digunakan umum adalah cara dari modulasi lebar pulsa (PWM).



Gambar 2.15 Inverter

(Sumber : <https://blog.dimensidata.com/pengertian-inverter-fungsi-inverter-dan-cara-kerja-inverter/>)

2. Solar Charge Control

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian - karena batere sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari panel surya / solar cell. Kelebihan *voltase* dan pengisian akan mengurangi umur baterai. Solar charge controller menerapkan teknologi *Pulse width modulation* (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban.



Gambar 2.16. Solar charge Control

(Sumber : <http://www.panelsurya.com/index.php/id/solar-controller/12-solar-charge-controller-solar-controller>)

3. Batrai Panel Surya

Baterai adalah alat yang menyimpan daya yang dihasilkan oleh panel surya yang tidak segera digunakan oleh beban. Daya yang disimpan dapat digunakan saat periode radiasi matahari rendah atau pada malam hari. Komponen baterai kadang-kadang dinamakan akumulator (*accumulator*). Baterai menyimpan listrik dalam bentuk daya kimia. Baterai yang paling biasa digunakan dalam aplikasi surya adalah baterai yang bebas pemeliharaan bertimbal asam (*maintenance-free lead-acid batteries*), yang juga dinamakan baterai *recombinant* atau VRLA (klep pengatur asam timbal atau *valve regulated lead acid*).



Gambar 2.17. Batrei Panel surya
(Sumber : <https://suryautamaputra.co.id/blog/2017/01/04/panel-surya-grid/>)

2.1.10 Pompa

Pompa adalah suatu alat mesin yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat yang lain melalui suatu media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara terus menerus.

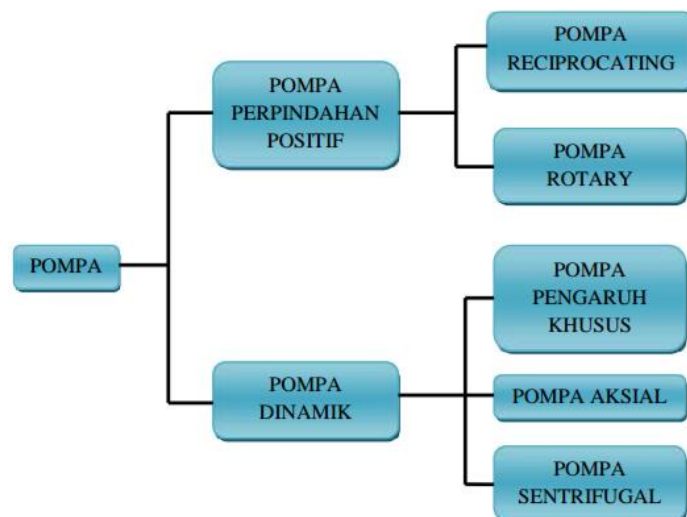
Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (*Suction*) dengan bagian keluar (*discharge*). Dengan kata lain pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga penggerak menjadi tenaga kinetis (kecepatan), dimana tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran. Adapun bentuk pompa bermacam – macam dengan demikian maka pompa dalam pelayanan nya dapat diklarifikasi menurut :

1. Pemakaiannya
2. Prinsip kerjanya
3. Cairan yang digunakan

4. Material atau bahan Konstruksinya

2.1.11. Jenis – jenis Pompa dan prinsip kerjanya

Pompa adalah salah satu jenis mesin *fluida* yang berfungsi untuk memindahkan zat cair dari suatu tempat ke tempat yang lain yang diinginkan. Pompa beroperasi dengan membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (*suction*) dengan bagian keluar (*discharge*). Pompa juga berfungsi mengubah tenaga mekanis dari sumber tenaga kinetis (Kecepatan). Tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada di sepanjang aliran. Pompa diklasifikasikan seperti gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 2.18 Klasifikasi Pompa

Sumber: (<https://www.google.com/amp/s/ebitfrista.wordpress.com/2016/11/12/klasifikasi-pompa/amp/>)

A. Pompa Perpindahan Positif (*Positif Displacment Pump*)

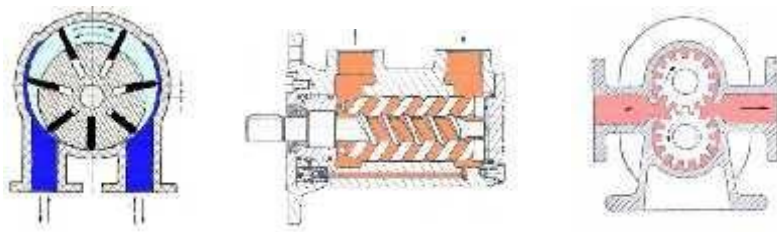
Pompa perpindahan positif bekerja dengan cara memberikan gaya tertentu terhadap cairan tetap dari sisi *Inlet* menuju ke sisi *outlet*

pompa. Kelebihan dari penggunaan pompa jenis ini adalah dapat menghasilkan *power density* (gaya persatuan berat) yang lebih berat dan memberikan perpindahan fluida yang tetap atau stabil disetiap putarannya.

Pompa perpindahan positif memiliki tipe yang lebih bervariasi dari pada pompa dinamik. Secara general pompa perpindahan positif dibagi menjadi dua jenis pompa rotary dan jenis *reciprocating*.

1. Pompa Rotary

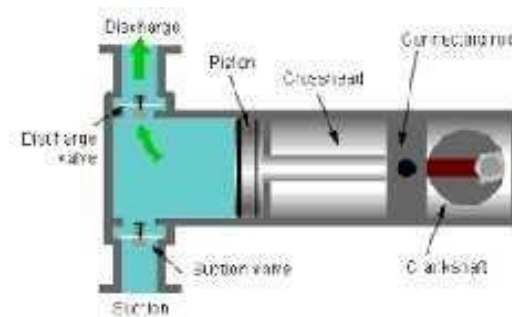
Pompa *rotary* ini memindahkan *fluida* kerja melalui mekanisme *rotary* dengan jalan menimbulkan efek *vakum* sehingga dapat menghisap fluida kerja dari sisi *inlet*, dan memindahkannya ke sisi *outlet*. Terperangkapnya udara di dalam *rotary*, secara natural pompa ini akan mengeluarkan udara tersebut. Jenis pompa rotary antara lain pompa roda gigi, pompa *screw* dan pompa kipas.



Gambar 2.19 Pompa kipas, Pompa screw, Pompa roda gigi
Sumber: (puballattack.blogspot.com/2013/07/pengertian-pompa-pompa-kipas.htm?m=1)

2. Pompa *Reciprocating*

Pompa ini menggunakan piston yang bergerak maju mundur sebagai komponen kerjanya, serta mengarahkan aliran *fluida* kerja ke hanya satu arah dengan *check valve*. Pompa *reciprocating* ini memiliki rongga kerja yang meluas pada saat menghisap fluida dan akan mendorong dengan memampatkan rongga kerja tersebut. *Check valve* digunakan untuk mengatur arah aliran fluida sehingga akan terjadi proses pemompaan yang seimbang. Berikut ini adalah gambar dari pompa reciprocating.



Gambar 2.20 Pompa *reciprocating*

Sumber (puballattack.blogspot.com/2013/07/pengertian-pompa-pompa-kipas.htm?m=1)

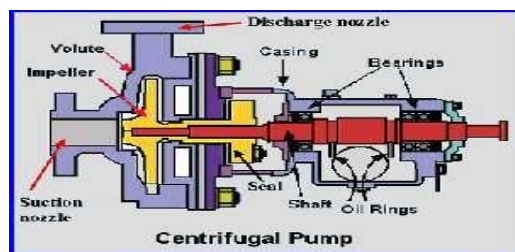
3. Pompa Dinamik

Pompa dinamik terbagi menjadi beberapa macam yaitu pompa sentrifugal, pompa aksial dan pompa spesial efek atau pompa pengaruh khusus. Pompa - pompa ini beroperasi dengan menghasilkan kecepatan fluida tinggi dan mengkonversi kecepatan menjadi tekanan melalui perubahan penampang aliran fluida. Jenis pompa ini biasanya juga memiliki efisiensi

yang lebih rendah dari pada tipe pompa perpindahan positif, tetapi memiliki biaya yang rendah untuk perawatannya. Pompa dinamik juga bisa beroperasi pada kecepatan yang tinggi dan debit aliran yang juga tinggi. Berikut jenis-jenis pompa dinamik:

a. Pompa Sentrifugal

Sebuah pompa sentrifugal tersusun atas sebuah *impeller* dan saluran *inlet* ditengah-tengahnya. Dengan desain ini maka pada saat *impeller* berputar, *fluida* mengalir menuju casing disekitar *impeller* sebagai akibat dari gaya *sentrifugal*. *Casing* ini berfungsi untuk menurunkan kecepatan aliran *fluida* sementara kecepatan putar *impeller* tetap tinggi. Kecepatan *fluida* dikonversikan menjadi tekanan oleh casing sehingga *fluida* dapat menuju titik outlet nya.

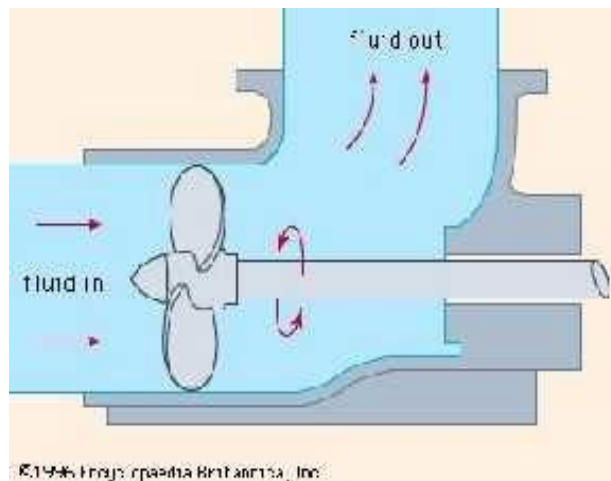


Gambar 2.21 Pompa *Sentrifugal*

Sumber : (puballattack.blogspot.com/2013/07/pengertian-pompa-pompa-kipas.htm?m=1)

b. Pompa Aksial

Pompa *aksial* bisa juga disebut dengan pompa *propeler*. Pompa ini menghasilkan sebagian besar tekanan dari *propeller* dan gaya *lifting* dari sudu terhadap fluida. Pompa ini banyak digunakan pada sistem drainase dan irigasi. Pompa *aksial vertikal single stage* lebih umum digunakan, akan tetapi kadang pompa *aksial two stage* lebih ekonomis penerapannya. Pompa *aksial* horisontal digunakan untuk debit aliran fluida yang besar dengan tekanan yang kecil dalam alirannya.



Gambar 2.22 Pompa Aksial

Sumber:(puballattack.blogspot.com/2013/07/pengertian-pompa-pompa-kipas.htm?m=1)

c. Spesial *Effect Pump*

Pompa ini sering digunakan untuk kebutuhan industri. Pompa yang termasuk dalam *spesial effect pump*

yaitu jet (*eductor*), gas Lift, *hydraulic ram* dan *elektromagnetic*. Pompa jet digunakan untuk mengkonversi energi tekanan dari fluida bergerak menjadi energi gerak sehingga menciptakan area bertekanan rendah, dan dapat menghisap di sisi suction. Gas *lift pump* adalah sebuah cara untuk mengangkat fluida di dalam sebuah kolom dengan jalan menginjeksikan suatu gas tertentu yang menyebabkan turunnya berat hidrostatik dari fluida tersebut sehingga *reservoir* dapat mengangkatnya ke permukaan. Pompa *elektromagnetic* adalah pompa yang menggerakkan fluida logam dengan jalan menggunakan gaya *elektromagnetic*.

2.1.12. Karakteristik Pada Pompa

Beberapa hal penting pada karakteristik pompa adalah :

1. *Head* (H)

Head adalah energi angkat atau dapat digunakan sebagai perbandingan antara suatu energi pompa per satuan berat fluida. Pengukuran dilakukan dengan mengukur beda tekanan antara pipa isap dengan pipa tekan, satuannya adalah meter. Head ada dalam tiga bentuk yang dapat saling berubah.

a) *Head* Potensial, didasarkan pada ketinggian fluida diatas bidang datar.

b) Head kinetik, adalah suatu ukuran energi kinetik yang dikandung satu satuan bobot fluida yang disebabkan oleh kecepatan dan dinyatakan oleh persamaan yang biasa dipakai untuk kinetik ($V^2/2Kg$).`

c) Head Tekanan adalah energi yang dikandung oleh fluida akibat tekanannya dan persamaannya adalah $\frac{\rho}{\gamma}$ Jika sebuah menometer terbuka dihubungkan dengan sudut tegak lurus aliran, maka fluida didalam tabung naik sampai ketinggian yang sama dengan $\frac{\rho}{\gamma}$.

2. Kapasitas (Q)

Kapasitas adalah jumlah fluida yang dialirkan peratuan waktu.

Dengan Persamaan :

$$\text{Debit (Q)} = \frac{\text{Volume}}{\text{Waktu}}$$

$$\text{Waktu (t)} = \frac{\text{Volume}}{\text{Debit}}$$

$$\text{Volume (v)} = \text{Debit} \times \text{Waktu}$$

3. Putaran (n)

Putaran dinyatakan dalam rpm dan diukur dengan *tachometer*.

4. Daya (P)

Daya dibedakan atas 2 macam yaitu daya dengan poros atau daya motor penggerak (Nm) yang diberikan motor listrik dan daya air yang dihasilkan pompa atau daya pompa.

a) Daya motor penggerak adalah daya mekanik keluaran motor penggerak yang diberikan kepada pompa sebagai daya masukan.

b) Daya pompa (N_p)

Daya Pompa adalah daya output terukur yang diberikan kepada fluida.

5. Efisiensi Pompa

Pompa tidak dapat mengubah seluruh energi kinetik menjadi energi tekanan, karena ada sebagian energi kinetik yang hilang bentuk *losis*. Efisiensi pompa adalah suatu faktor yang dipergunakan untuk menghitung *losisi* ini. Efisiensi Pompa terdiri dari :

- a) Efisiensi hidrolis memperhitungkan *losis* akibat gesekan antara cairan dengan Impeller, dan *losisi* akibat perubahan arah yang tiba – tiba pada *impeler*.
- b) Efisiensi volumetris, memperhitungkan *losis* akibat resirkulasi pada ring, *bush*.
- c) Efisiensi mekanis, memperhitungkan *losis* akibat gesekan pada seal, packing, gland, bantalan.

Setiap pompa dirancang pada kapasitas dan head tertentu, meskipun dapat juga dioperasikan pada kapasitas dan head yang lain. Efisiensi pompa akan mencapai maksimum pada *designed point* tersebut, yang dinamakan dengan titik BEP. Untuk kapasitas yang lebih kecil atau lebih besar efisiennya akan lebih rendah.

2.1.13. Kendala – kendala pada Pompa

Gangguan pada pompa dapat menyebabkan menurunnya kinerja pompa tersebut untuk mengumpan air. Gangguan pada pompa juga dapat

memperpendek umur pompa tersebut. Gangguan-gangguan tersebut disebabkan beberapa faktor salah satunya yaitu kurangnya perawatan pompa yang dilakukan. Adapun gangguan yang sering terjadi pada pompa sebagai berikut :

1. Pompa sulit dipancing
2. Pompa tidak bisa berputar setelah tombol ditekan
3. Pompa berputar tetapi air tidak mau keluar
4. Motor mengalami pembebanan lebih
5. Bunyi dan getaran terlalu berlebih
6. Temperatur bantalan melebihi batas
7. Kebocoran dan pemanasan kotak packing
8. Terjadi kavitasi
9. Impeller macet atau tidak berputar normal
10. Terbentuknya kerak pada bagian dalam pompa

2.1.14. Motor Listrik

Motor listrik termasuk kedalam kategori mesin listrik dinamis dan merupakan sebuah perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll di industri dan digunakan juga pada peralatan listrik rumah tangga (seperti: mixer, bor listrik, kipas angin). Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri, sebab

diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri. Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor listrik secara umum sama (Gambar 1), yaitu:

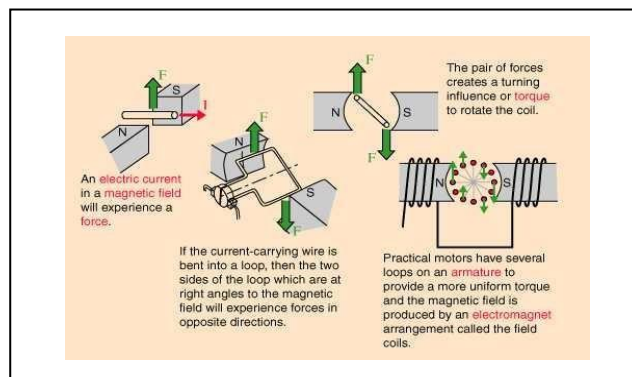
- a) Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya.
- b) Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/loop, maka kedua sisi *loop*, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- c) Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/ torsi untuk memutar kumparan.
- d) Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

Dalam memahami sebuah motor listrik, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar/torsi sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan kedalam tiga kelompok:

- a) Beban torsi konstan, adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya, namun torsi nya tidak bervariasi. Contoh beban dengan torsi konstan adalah conveyors, rotary kilns, dan pompa displacement konstan.

- b) Beban dengan torsi variabel, adalah beban dengan torsi yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan torsi variabel adalah pompa sentrifugal dan fan (torsi bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).
- c) Beban dengan energi konstan, adalah beban dengan permintaan torsi yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

Seperti gambar dibawah ini menunjukkan cara kerja dari sebuah motor listrik sesuai dengan keterangan diatas :



Gambar 2.23 : Prinsip dasar kerja motor listrik

Sumber: (<https://www.google.com/amp/s/listrikpemakaian.wordpress.com/2009/04/02/materi-teknik-ptl/amp>)

1. Jenis Motor Listrik

Bagian ini menjelaskan tentang dua jenis utama motor listrik: motor DC dan motor AC. Motor tersebut diklasifikasikan berdasarkan pasokan input, konstruksi, dan mekanisme operasi, dan dijelaskan lebih lanjut dalam bagan pada gambar 4.4 dibawah ini:

A. Motor DC Direct Current (Searah)

Arus Searah Motor DC / arus searah, sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung / *direct-unidirectional*. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalan torsi yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas. Gambar 4.5 memperlihatkan sebuah motor DC yang memiliki tiga komponen utama:



Gambar : 2.24 Motor DC (Arus searah)

Sumber: (<https://www.google.com/amp/s/listrikpemakaian.wordpress.com/2009/04/02/materi-teknik-ptl/amp>)

Elemen – elemen dari motor listrik DC ini sebagai berikut :

a. Kutub medan

Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan bearing pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau

lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.

b. Dinamo

Bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo.

c. *Kommutator*

Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam dinamo. Kommutator juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya. Keuntungan utama motor DC adalah kecepatannya mudah dikendalikan dan tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya.

Motor DC ini dapat dikendalikan dengan mengatur, Tegangan dinamo – meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan, Arus medan – menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi untuk beberapa penggunaan berkecepatan rendah, penggunaan daya rendah hingga sedang, seperti peralatan mesin dan *rolling mills*, sebab sering terjadi masalah dengan perubahan arah arus listrik mekanis pada ukuran yang lebih besar. Juga, motor tersebut dibatasi hanya untuk penggunaan di area yang bersih dan tidak berbahaya sebab resiko percikan api pada sikatnya. Motor DC juga relatif mahal dibanding motor AC. Hubungan antara kecepatan, flux medan dan tegangan dinamo ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$E = K\Phi N.$$

$$T = K\Phi I_a.$$

Dimana:

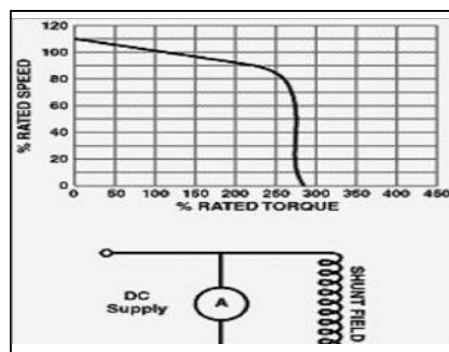
E	= gaya elektromagnetik yang dikembangkan pada terminal dinamo (volt)
Φ	= flux medan yang berbanding lurus dengan arus medan
N	= Kecepatan dalam RPM (putaran per menit)
T	= Torsi electromagnetik
I_a	= arus dinamo
K	= konstanta persamaan

B. Jenis – jenis Motor Listrik DC / Searah.

- a) Motor DC sumber daya terpisah / *Separately Excited*, Jika arus medan dipasok dari sumber terpisah maka disebut motor DC sumber daya terpisah / *separately excited*.

b) Motor DC sumber daya sendiri / *Self Excited*: motor *shunt*.

Pada motor shunt, gulungan medan (medan shunt) disambungkan secara paralel dengan gulungan dinamo (A) seperti diperlihatkan dalam gambar 4. Oleh karena itu total arus dalam jalur merupakan penjumlahan arus medan dan arus dinamo.



Gambar 2.26 Karakteristik Motor DC *Shunt*

Sumber: (<https://www.google.com/amp/s/listrikpemakaian.wordpress.com/2009/04/02/materi-teknik-ptl/amp>)

2.2. Tinjauan Pustaka

Dhimas Febriananda Prakoso (2014) melakukan penelitian tentang **KINERJA POMPA AIR TENAGA SURYA PORTABLE BERDASARKAN INTENTITAS TENAGA SURYA**, didalam penelitian tersebut disimpulkan bahwa pada ketinggian 0,5 meter debit air terbanyak adalah 0,736 *it/second* dan debit air terendah adalah 0, 714 *it second*, waktu yang tercepat adalah 95 detik dan waktu terlama adalah 98 detik. Artinya didalam penelitian ini intentitas dan ketinggian air sangat berpengaruh terhadap volume air yang dikeluarkan.

Abbrevia Al Jihad Fahiswara (2015) DESAIN DAN SIMULASI POMPA SEL SURYA DENGAN OPTIMASI KONTROL SLIP UNTUK MEMAKSIMALKAN DAYA DAN EFESIENSI, dalam penelitian tersebut dihasilkan motor induksi bila dihubungkan langsung dengan sumber sel surya, maka daya keluaran sel surya tidak optimal , diperlukan suatu kontroler untuk memaksimalkan daya sel surya, yaitu salah satunya dengan cara mengontrol tegangan sel surya konstan pada nilai optimun, dari hasil simulasi diperoleh tegangan optiml untuk sel surya sebesar 318 Volt, Dengan menggunakan kontrol MPPT metode tegangan keluaran PV konstan diperoleh hasil lebih baik ketimbang tanpa menggunakan control MPPT.

Wahyu Dialmono Putro (2016) melakukan penelitian tentang “**PENGUJIAN KINERJA POMPA SENTRIFUGAL MENGGUNAKAN KONTROL INVENTER**” hasil pada penelitian tersebut ialah Pengujian kinerja pompa sentrifugal dengan metode kontrol inventer menunjukkan hasil

yang valid dan dapat diandalkan, karena hasil pengukurannya mendekati dengan spesifikasi pompa keluaran pabrik, meskipun terdapat sedikit perbedaan, perbedaan tersebut disebabkan dari pembacaan manual pada manometer pipa U. Hasil pengukuran dibandingkan dengan spesifikasi keluaran pabrik adalah sebagai berikut : spesifikasi pompa yang diuji menunjukkan head berturut – turut 16 m, 11 m, dan 9 m , debit berturut – turut $105 \text{ m}^3/\text{jam}$, efesiensi berturut – turut 95,70, dan 95%, metode pengukuran kinerja pompa dengan inventer ini dapat dijadikan salah satu alternatif pengujian kinerja pompa, karna hasil ukurannya dapat diandalkan seperti alat *metering pumps*.

Mustaqim (2016) melakukan eksperimen “ANALISA SUDUT SERANG BILAH PADA TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL ENAM BILAH DATAR SEBAGAI PENGGERAK POMPA” Kondisi alam di Brebes (Jawa Tengah) mempunyai Garis pantai sepanjang kurang lebih 72,93 km, wilayah utara dataran rendah yang luas dan wilayah selatan yang berupa dataran tinggi dan pegunungan. Kondisi ini mendukung wilayah Brebes kaya akan sumber energi angin : angin laut, angin darat, angin kumbang, angin barat dan angin timur. Luas wilayah lahan pertanian sekitar 62703 hektare yang kondisinya. 14.444 hektar merupakan sawah tadah hujan. (sumber : id.m.org/wiki/Kabupaten_Brebes). Sumber energi angin sangat melimpah terutama di musim kemarau karena melimpahnya sumber energi angin. Kecepatan angin rata-rata lebih dari 5 knot (sumber BMKG Tegal). Dengan

kecepatan angin rata-rata diatas 2,5 m /dt, merupakan sumber energi yang murah, bersih dan cukup ekonomis untuk dikembangkan.

Berdasarkan dari hasil pengolahan data yang di ambil maka di simpulkan bahwa: Sudut serang optimum kincir angin enam bilah datar sumbu horizontal sebagai penggerak pompa adalah 43 derajat, TSR 2,5 dan C_p yang dapat dihasilkan 0,152. Kincir mulai beroperasi pada kecepatan angin 1,4 m/dt. Debit air yang dihasilkan berdasarkan hasil uji coba adalah 19,20 liter / menit. Putaran poros kincir terbesar yang diperoleh 35,3 RPM. Nilai TSR maksimum yang dicapai 2,593 di capai pada kondisi sudut serang bilah 43 derajat. Peneliti yakin, masih banyak kekurangan dari penelitian ini yang masih bisa disempurnakan untuk perbaikan dan penerapan dilapangan.

Zian Iqtimal, Ira Fevi Sara, Syahrizal (2018) melakukan penelitian tentang “APLIKASI SISTEM TENAGA SURYA SBAGAI SUMBER TENAGA LISTRIK POMPA AIR” dimana didalam penelitiannya menyimpulkan Besar daya panel yang dihasilkan tergantung pada intentitas radiasi matahari yang mengenai permukaan panel surya . Panel surya yang digunakan sebagai sumber energi alternatif dengan 50 WP memiliki efesiensi 12,25%. Daya yang dihasilkan panel surya dipengaruhi oleh intentitas matahari. Pada perancangan sistem tenaga surya untuk energi listrik pompa air dengan panel surya memerlukan waktu 32 menit untuk mengisi air 1750 liter ke dalam tandon penampung sesuai dengan kebutuhan air rata – rata dalam rumah tangga.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

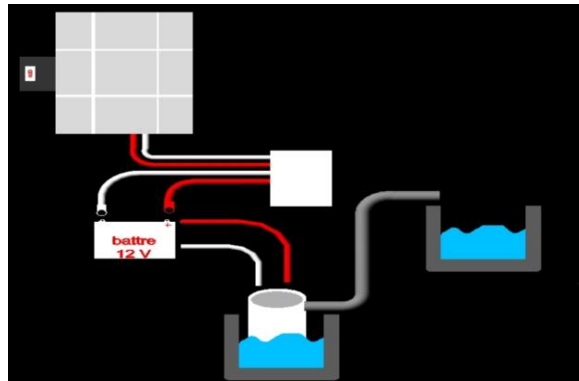
3.1. Waktu dan Tempat penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Kali Ketiwon Dampyak Kabupaten Tegal, yang berlangsung Maret – Agustus 2020.

Tabel 3.1 Jadwal rencana Penelitian

No	Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi referensi	✓					
2	Persiapan alat dan bahan		✓				
3	Perakitan alat dan bahan		✓				
4	Ujicoba			✓			
5	Pengambilan data				✓		
6	Pengolahan data				✓		
7	Pembuatan laporan				✓		
8	Pendadaran						✓

3.3. Instrumen Penelitian



Gambar 3.1 Skema Penelitian



Gambar 3.2 Desain Mesin Pompa Air tenaga surya.

1. Alat

Dalam penelitian ini alat yang digunakan merupakan alat yang relatif terjangkau oleh masyarakat secara umum, karna peneliti berharap agar penelitian ini dapat diterapkan terhadap kepentingan masyarakat sebagai alternatif teknologi. Serta seperti yang tertera pada Gambar 3.2 didesain dengan cukup sederhana.

2. Bahan

Bahan yang digunakan untuk membuat alat pada gambar 3.2 sangatlah mudah untuk dicari, adapun bahan – bahan yang digunakan sebagai berikut :

- a. Besi Plat persegi yang digunakan sebagai pembuatan rangka dari desain pompa air dengan panel surya dan juga untuk menempatkan komponen lainnya seperti Aki, dan alat ukur.



Gambar 3.3 Proses pembuatan rangka, dengan bahan besi plat persegi

- b. Besi plat ukuran 4 mm, yang digunakan sebagai perekat antara panel surya dengan rangkanya.



Gambar 3.4 proses pemotongan besi plat perekat

c. Panel Surya

Panel surya merupakan alat yang paling penting dalam penelitian ini karna akan digunakan sebagai sumber energi, panel surya yang digunakan ialah jenis Poli dengan ukuran *100 Watt Peak* (Wp).



Gambar 3.5 Panel surya Poli 100 Watt Peak (WP)

d. Pompa Air DC

Pompa air memiliki fungsi untuk menggerakkan fluida dari tempat bertekanan rendah ketempat bertekanan tinggi, Pompa air yang digunakan berjenis Pompa DC (pompa hisap) merek YORK dengan kapasitas 12 volt 60 Watt.



Gambar 3.6 Pompa Air DC merek YORK

e. Batrei / Aki

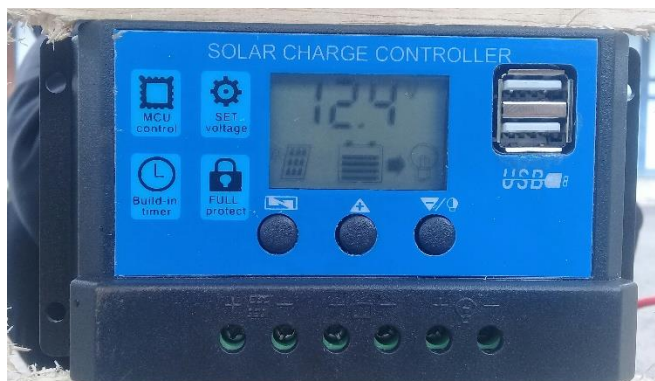
Bateri yang digunakan adalah batrei mobil dengan merek Solite SMF – NSGO kapasitas 12 V 50 AH.



Gambar 3.7 Bateri Mobil 50 AH

f. *Solar Charge Controller*

Solar charge controller berfungsi untuk mengatur kelebihan pengisian batrei, mengetahui tegangan panel surya, solar charge control yang digunakan berkapasitas 12 – 24 V.



Gambar 3.8 *Solar charge controller* 12 – 24 V

g. Power Meter

Power meter yang digunakan ialah SM 206 *Digital Solar Power Meter Sun Light* yang berfungsi untuk mengukur radiasi matahari.



Gambar 3.9 SM 206 *Digital Solar Power Meter Sun Light*

3.3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah Eksperimen yaitu dengan melakukan perancangan pompa air *direct current* (DC) energi surya, yang dimana peneliti dengan cara sistematis melakukan pengamatan pada suatu variabel dengan objek pada Pompa *air direct current* (DC) Energi Surya. Berikut cara peneliti melakukan Penelitian :

- a) Pengambilan Data Intensitas Cahaya Matahari dengan menggunakan alat ukur Solar Power Meter
- b) Pengujian Sudut Panel pada posisi 30^0 , 60^0 , 90^0 Pada Tegangan, Arus Sel Surya yang dihasilkan
- c) Pengujian Kapasitas Baterai dengan beban pompa air selama 1 jam

- d) Pengujian Jatuh Tegangan Sel surya pada cuaca panas dan cuaca mendung
- e) Pengujian Pompa Air Tenaga Surya

3.4. Variabel Penelitian Eksperimen

Menurut Endang Mulyatiningsih (2011: 90), penelitian eksperimen memiliki tiga variabel yaitu variabel bebas (*independent*), variabel terikat (*dependent*) dan variabel kontrol. Variabel independen merupakan variabel yang kedudukannya memberi pengaruh terhadap variabel dependen, dapat dimanipulasi, di ubah, atau diganti. Sedangkan variabel dependen adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel independent. Variabel kontrol adalah variabel yang tidak diberi perlakuan/ eksperimen namun selalu diikutsertakan dalam proses penelitian. Dalam penelitian eksperimen, variabel independen adalah perlakuan (*treatment*) sedangkan variabel dependen adalah karakteristik yang diukur setelah mendapat perlakuan. Variabel terikat berupa karakteristik subjek sebelum mendapat perlakuan. Sedangkan variabel kontrol adalah karakteristik kelompok subjek yang tidak diberi perlakuan tetapi turut diukur atau diambil datanya sebelum maupun sesudah eksperimen. Penelitian eksperimen menguji hubungan sebab-akibat antar variabel independen (bebas) yang terdapat pada objek percobaan dan dependen (terikat) yang terdapat pada karakteristik subjek yang telah diberi perlakuan. Variabel kontrol dalam penelitian eksperimen berfungsi sebagai acuan, untuk membandingkan apakah perubahan yang terjadi pada variabel dependen (terikat) dipengaruhi oleh adanya variabel

independen (bebas) atau tidak. Dan apabila kelompok eksperimen tidak berbeda nyata dengan kelompok kontrol maka eksperimen tidak memiliki pengaruh yang nyata.

1. Variabel Bebas.

Variabel bebas atau independen merupakan variabel yang kedudukannya memberi pengaruh terhadap variabel dependen, dapat dimanipulasi, di ubah, atau diganti Endang Mulyatiningsih (2011: 90), Variabel bebas dalam penelitian ini adalah sudut panel surya pada kemiringan $30^0, 60^0, 90^0$.

2. Variabel Terikat.

Variabel terikat atau dependen adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2014: 39). Variabel dependen dalam penelitian ini adalah Tegangan (V) dan Arus (I) panel surya.

3. Variabel Tetap

Variabel tetap atau kontrol adalah variabel yang tidak diberi perlakuan/ eksperimen namun selalu diikutsertakan dalam proses penelitian. dalam penelitian ini adalah , Panel Surya 100 WP, dan Pompa Air.

3.5. Teknik Pengolahan Data

Teknik pengolahan data yang digunakan sebagai berikut :

1. Teknik yang digunakan pada pengambilan data Intensitas cahaya matahari adalah dengan cara menggunakan alat ukur Solar Power Meter

SN 206, pengambilan data dilakukan pada cuaca cerah dan cuaca mendung dengan satuan W/m^2 . Rumus yang digunakan adalah :

$$P = I \cdot A$$

$$P = \text{Daya (Watt)}$$

$$I = \text{Arus Panel Surya}$$

$$A = \text{Luas Panel (m}^2\text{)}$$

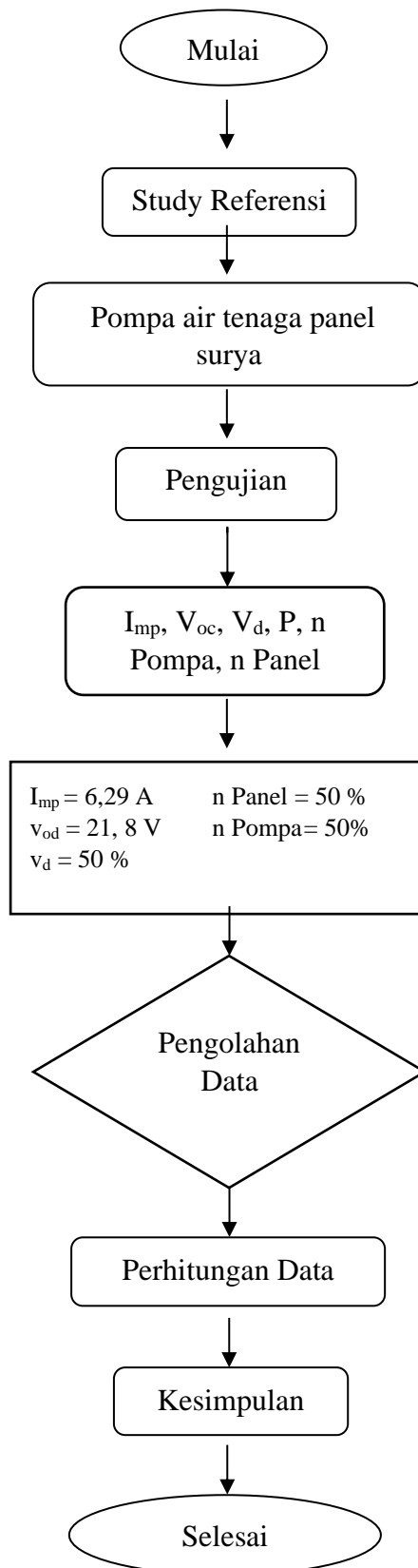
2. Menentukan Posisi Sudut Panel Surya pada posisi $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$, untuk mengetahui Tegangan (V), Arus (I), Daya (P) Panel surya.

Kemiringan	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
30°			
60°			
90°			

3. Pengukuran Kapasitas Baterai yang telah di cas dengan sisitem Panel Surya selama 3 hari, lalu di ukur dengan beban Pompa Air yang dihidupkan selama 1 Jam.

10 menit ke -	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		

3.6. Diagram Alur Penelitian



Tabel 3.1 Form Data Pengujian Pompa Air Tenaga Surya

No	Pukul	Volt (V)	Ampere (I)	Daya electric (Watt)	Daya Aliran (Watt)	Waktu (detik)	Debit air (m ³ / detik)	Efesiensi Pompa (%)
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

a. Gambar Desain Pompa Air Tenaga Surya



Gambar 4.1 Desain Pompa Air DC Tenaga Surya



Gambar 4.2 Desain Pompa Air DC
Spesifikasi Pompa DC :

- 1) *Model* YRK – BL2512
- 2) *Voltage* DC – 12 V
- 3) *Max Output* 701 /min
- 4) *Motor Power* 60 w/ 5800 rpm
- 5) *Curent* 5.4 A
- 6) *Outlet D I A* 25 mm

Untuk pemasangan panel surya seperti pada gambar diatas akan dipasang secara seri sedangkan untuk pengisian batre dipasang secara Horizontal. Gambar 4.1 memperlihatkan fungsi dari kegunaan alat yang akan dirancang.

- a. Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya untuk menyerap atau menyimpan energi cahaya matahari yang kemudian menjadi sumber energi
- b. Solar charge controller digunakan sebagai control pengisian baterai dari energi yang dihasilkan panel surya
- c. Baterai sebagai penyimpanan energi yang dihasilkan dari panel surya untuk menyuplai daya ke beban
- d. Beban terdiri dari pompa air 60 watt

b. Menentukan Kapasitas Panel Surya

Untuk sistem PLTS dengan daya 100 watt kebawah, faktor 20% harus ditambahkan ke pembebanan sebagai pengganti rugi – rugi sistem dan untuk faktor keamanan (Dunlop, 1997). Oleh karna itu ampere – jam beban sudah ditentukan dikalikan dengan 1.20 sehingga.

$$E_T = E_B \times \text{Rugi dan safety factor}$$

$$= E_B \times 1,20$$

$$= 60 \text{ wh} \times 1.20$$

$$= 72 \text{ wh}$$

Keterangan

E_B = Energi beban (waat jam perhari)

E_T = Energi total beban (waat jam perhari)

Faktor penyesuaian pada kebanyakan instalasi PLTS adalah (Hankins, 1991), kapasitas daya modul surya yang dihasilkan adalah :

$$C_{\text{panel surya}} = \frac{ET}{IM} \times FP$$

$$C_{\text{panel surya}} = \frac{72}{8,446} \times 1.1 = 9,37 \text{ wp}$$

Keterangan :

ET = Energi Total beban (Watt jam Per hari)

IM = Insolasi Matahari (Kwh/m²)

FP = Faktor Penyesuaian (1,1)

c. Pemilihan Baterai

Baterai yang digunakan adalah SOLITE MF 65B24R untuk mobil dengan kapasitas 50 AH, Kapasitas yang dapat digunakan diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C_{\text{Baterai}} &= C_{\text{Nominal Baterai}} \times DOD : 100 \% \\ &= 50 \text{ Ah} \times 80 \% : 100 \% \\ &= 40 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Dan kapasitas yang dapat digunakan sampai umur daur adalah

$$\begin{aligned} C_{\text{Baterai umur daur}} &= C_{\text{baterai}} \times UD \\ &= 40 \text{ Ah} \times 500 \\ &= 2000 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Keterangan :

UD = Usia Daur

$C_{\text{Baterai umur daur}}$ = Kapasitas baterai sampai umur daur (Ah)

C_{Baterai} = Total kapasitas baterai yang dapat digunakan (Ah pada 12 Volt)

Telah di tentukan pada sub bab penentuan baterai pada penelitian ini adalah SOLITE MF 65B24R untuk mobil 40 Ah 12 Volt. Dapat ditentukan jumlah baterai yang diperoleh yaitu :

$$\begin{aligned} \sum_{\text{baterai}} &= C_{\text{baterai}} \times 100 \% : C_{\text{nom}} : \text{DOD} \\ &= 37,5 \text{ Ah} \times 100\% : 40 \text{ Ah} : 80 \% \\ &= 1.17 = 1 \text{ buah Baterai} \end{aligned}$$

Bila ditetapkan periode penyimpanan selama 2 hari maka total kapasitas baterai yang dapat digunakan adalah.

$$\begin{aligned} C_{\text{Baterai}} &= E_r \times A : V_s \\ &= 60 \text{ Wh/hari} \times 2 \text{ hari} : 12 \text{ Volt} \\ &= 10 \text{ Ah pada 12 volt} \end{aligned}$$

d. Penentuan Solar Charge Controller

Beban pada sistem PLTS mengambil energi dari Charge Controller ,kapasitas harus yang mengalir pada charge controller dapat ditentukan

dengan mengetahui beban maksimal yang terpasang. Maka arus kapasitas arus yang mengalir pada charge controller yaitu :

$$\begin{aligned} I_{\max} &= \frac{p_{\max}}{V_s} \\ &= \frac{60}{12 \text{ volt}} \\ &= 5 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Keterangan ;

I_{\max} = Arus maksimum (Ampere)

P_{\max} = Daya Maksimum (Watt)

V_s = Tegangan Sistem (Volt)

e. Pengambilan Data Primer Intensitas Cahaya Matahari Untuk Wilayah Kali Ketiwon Kelurahan Dampyak, Kab. Tegal.

Pengambilan data primer ini bertujuan untuk sebagai pembandingan dengan data dari BMKG terkait radiasi sinar matahari di Kabupaten Tegal khususnya dilingkungan Kali Ketiwon Kelurahan Dampyak. Pengambilan data ini menggunakan alat ukur *SOLAR POWER METER SM 206*, pengambilan data ini dilakukan selama 2 hari.

Pada tabel 4.1 didapatkan nilai rata – rata selama 2 hari yaitu 844,6 w/m². Dengan perhitungan nilai rata – rata dijumlahkan dan dibagi lamanya pengukuran.

Tabel 4.1 Data Primer Intensitas Cahaya Matahari

No	Kondisi Matahari				PUKUL	Hari 1 (w/m ²)	Hari 2 (w/m ²)	Nilai Rata - rata (w/m ²)
	Cerah		Berawan					
	1	2	1	2				
1.			✓	✓	08.00	750,2	750,4	750,3
2.			✓	✓	09.00	751,1	781,3	766,2
3.	✓	✓			10.00	1033,6	1057,1	1045,3
4.	✓	✓			11.00	1244,4	1254,4	1249,4
5.	✓	✓			12.00	1107,7	1037,1	1072,4
6.			✓	✓	13.00	797,4	1059,1	925,5
7.			✓	✓	14.00	746,9	814,3	780,6
8.			✓	✓	15.00	724,5	582,4	653,5
9.			✓	✓	16.00	120,3	632,3	376,3

Keterangan :

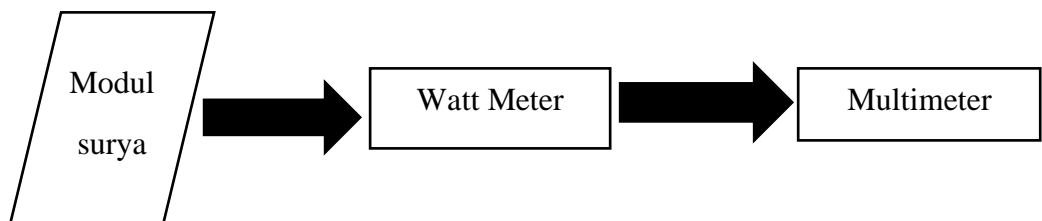
Cerah / Berawan 1 = Hari Pertama

Cerah / Berawan 2 = Hari Kedua

- f. Pengukuran Tegangan dan Arus dengan sudut Kemiringan yang berbeda tanpa beban (Pompa)

Untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan Panel Surya terhadap tegangan dan arus, peneliti melakukan percobaan pengujian pada pukul 10.00 WIB, 12.00 WIB dan pukul 14.00 WIB. Dengan sudut kemiringan 30^0 , 60^0 , 90^0 . Pada pengujian ini bertujuan untuk melihat pengaruh sudut terhadap Intensitas matahari dengan keluaran keluaran Daya sel surya. Cara Pengukuran tegangan dan arus yang di keluarkan Panel Surya sebagai berikut :

- 1) Menentukan Sudut Panel Surya
- 2) Menghubungkan kabel positif dan negatif panel surya ke Wattmeter
- 3) Menentukan Pukul pengujian
- 4) Melakukan pengukuran arus dan tegangan dengan durasi per – 10 menit



Hasil pengukuran tegangan dan arus diperlihatkan pada 4.1 pada pukul 13.00 WIB, gambar 4.2 pada pukul 14.00 WIB, gambar 4.3 Pada pukul 15.00 Wib. Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran tegangan dan arus kemiringan sel surya



Posisi 30⁰



Posisi 60⁰



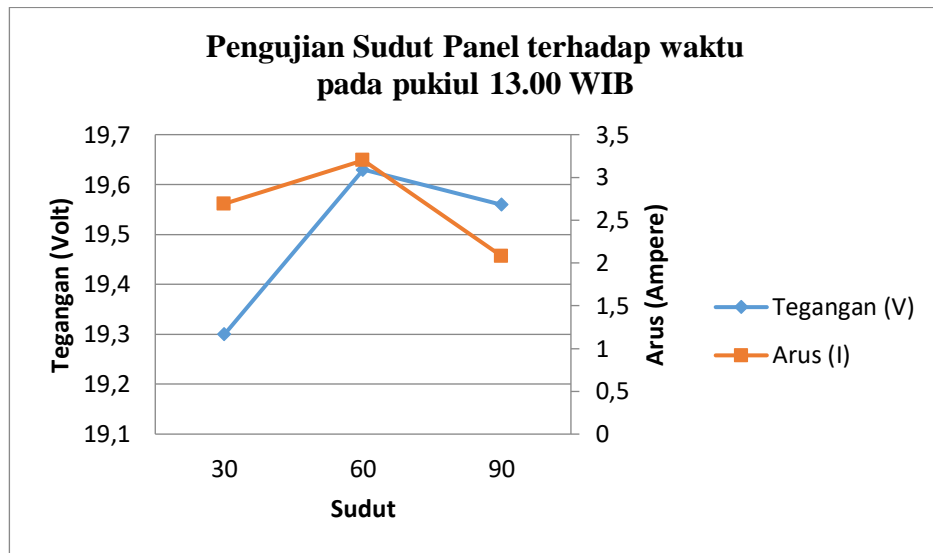
Posisi 90⁰

Gambar 4.3 Posisi Sudut Panel Surya 30⁰, 60⁰, 90⁰

Pemasangan sebuah panel surya dengan posisi tegak lurus terhadap arah sinar matahari, untuk mengetahui pengaruh arah sinar matahari terhadap keluaran Daya panel surya.

Tabel 4.2 pengukuran tegangan dan arus kemiringan sel surya
pukul 13.00 WIB

Kemiringan	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
30 ⁰	19,30	2,69	51,92
60 ⁰	19,63	3,20	62,82
90 ⁰	19,56	2,08	40,68

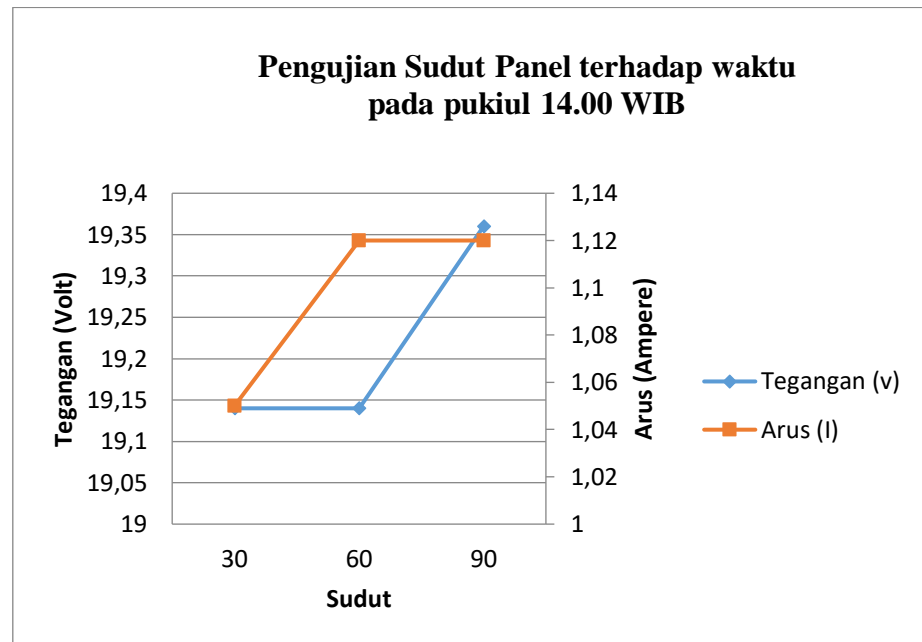


Gambar 4.4 Grafik pengukuran tegangan open circuit dan arus short circuit dengan berbagai kemiringan panel surya pada pukul 13.00 WIB.

Gambar 4.4 memperlihatkan kurva pengukuran tegangan open circuit dan arus short circuit dengan berbagai kemiringan panel surya pada pukul 13.00 WIB.

Tabel 4.3 pengukuran tegangan dan arus kemiringan sel surya pukul 14.00 WIB

Kemiringan	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
30 ⁰	19,14	1,05	20,09
60 ⁰	19,14	1,12	21,44
90 ⁰	19,36	1,12	21,68

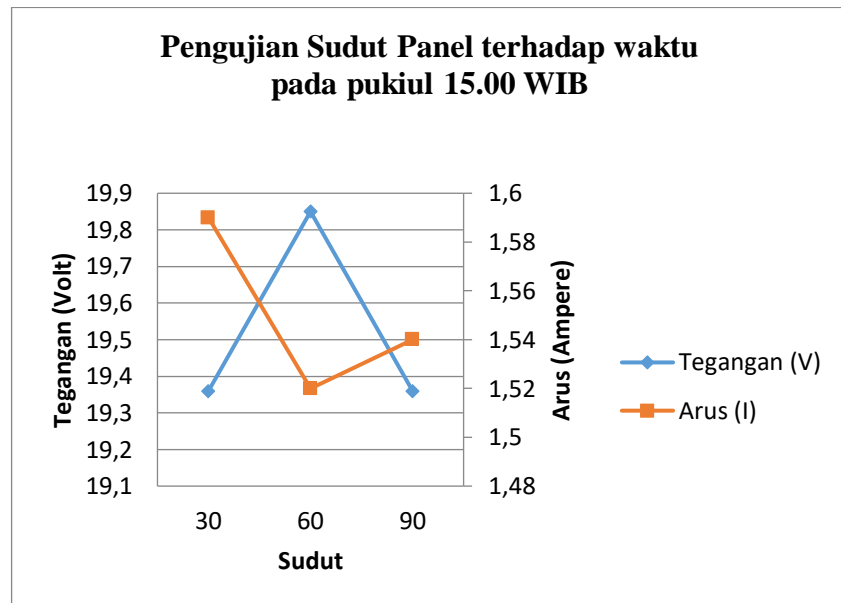


Gambar 4.5 Grafik pengukuran tegangan open circuit dan arus short circuit dengan berbagai kemiringan panel surya pada pukul 14.00 WIB.

Gambar 4.5 memperlihatkan kurva pengukuran tegangan open circuit dan arus short circuit dengan berbagai kemiringan panel surya pada pukul 14.00 WIB.

Tabel 4.4 Pengukuran tegangan dan arus kemiringan sel surya pukul 15.00 WIB.

Kemiringan	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
30 ⁰	19,36	1,59	30,78
60 ⁰	19,85	1,52	30,17
90 ⁰	19,36	1,54	29,81



Gambar 4.6 Grafik pengukuran tegangan open circuit dan arus short circuit dengan berbagai kemiringan panel surya pada pukul 15.00 WIB.

Gambar 4.6 memperlihatkan kurva pengukuran tegangan open circuit dan arus short circuit dengan berbagai kemiringan panel surya pada pukul 15.00 WIB.

g. Pengukuran Kapasitas Baterai

Pada pengukuran kapasitas baterai yang akan dilakukan dengan menghidupkan beban yaitu berupa pompa air DC 60 Watt selama 1 jam dengan keadaan baterai kondisi penuh setelah di isi oleh sistem *fotovoltaic*.

Tabel 4.5 menjelaskan estimasi penggunaan pompa air selama 1 jam / hari, dengan perbandingan spesifikasi energi dalam baterai 12 Volt ,50 Ah, maka didapatkan energi pemakaian awal sebesar. 600 wh.

Tabel 4.5 estimasi penggunaan pompa air selama 1 jam per hari,

Hari	Energi dalam Baterai 50 Ah (wh)	Pemakain energi (wh)	Energi Baterai akhir (wh)
1.	600	60	540
2.	540	60	480
3..	480	60	420
4.	360	60	300
5.	300	60	240
6.	240	60	180
7.	180	60	120
8.	120	60	60
9.	60	60	Defisit

Maka untuk beban 60 wh per hari maka kapasitas baterai 60 Ah hanya dapat men-suplai dengan aman selama 8 hari.

Pada tabel 4.6 ditunjukkan hasil pengukuran kapasitas baterai. setelah dilakukan nya pengujian menghidupkan beban pompa air selama 1 jam dengan waktu pengambilan data per 10 menit pada pukul 13.00 WIB.

Tabel 4.6 Pengukuran kapasitas baterai

10 menit ke -	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)
1.	15,1	11,94
2.	15,1	11,92
3.	15,0	11,88
4.	14,3	11,88
5.	13,89	11,82
6.	13,28	11,82

h. Pengujian Panel surya Pada Saat Berbeban

Untuk mengetahui persentase jatuh tegangan, maka peneliti menggunakan metode eksperimen dengan percobaan pertama Panel surya dibebani pompa air DC 12 volt, percobaan dimulai dari pukul 09.00 WIB sampai pukul 16.00 WIB dengan dua keadaan cuaca yaitu cerah dan mendung, dengan sudut kemiringan 60^0 , terhadap posisi matahari agar diperoleh energi listrik maksimum. Pengambilan data ini dilaksanakan pada tanggal 5 – 6 Juli 2020 , Peneliti menggunakan persamaan sebagai berikut ;
Persentase Jatuh tegangan (Vg)

$$Vg (100\%) = \frac{V_{NL}-V_{FK}}{V_{FL}} \times 100 \%$$

Dimana :

V_{NL} = Tegangan pada saat beban nol

V_{FL} = Tegangan pada saat berbeban

Dari perhitungan jatuh tegangan peneliti mengambil salah satu data dari tabel 7 yaitu pada pukul 09.00 WIB pada keadaan cerah, yaitu:

Jatuh tegangan (v_d) saat modul surya dibebani pompa air,

$$\begin{aligned} V_d &= \frac{vm-vp}{vp} \times 100\% \\ &= \frac{12,19-11,85}{11,85} \times 100\% \\ &= 2,87 \% \end{aligned}$$

Tabel 4.7 menunjukkan hasil pengukuran modul surya pada saat berbeban pada keadaan cerah.

Tabel 4.7 Hasil percobaan Panel surya pada saat berbeban pada keadaan
cerah

Pukul	Vm (Volt)	Vp (Volt)	Ip (Ampere)	Vd (%)	Cuaca
09.00	12,19	11,85	0,60	2,87	Cerah
10.00	12,21	11,90	0,91	2,60	Cerah
11.00	12,22	11,93	1,20	2,43	Cerah
12.00	12,22	11,96	1,76	2,17	Cerah
13.00	12,24	11,05	1,74	1,76	Cerah
14.00	12,24	11,10	1,69	1,27	Cerah
15.00	12,18	11,95	1,23	1,92	Cerah
16.00	12,18	11,90	1,10	2,35	Cerah

Keterangan Tabel :

V_m = Tegangan modul surya saat tanpa beban

V_p = Tegangan modul saat dibebani

I_P = Arus saat dibebani

V_d = Prosentase jatuh tegangan saat dibebani pompa air

Tabel 4.8 menunjukkan hasil pengukuran modul surya pada saat berbeban pada saat keadaan mendung.

Tabel 4.8 Hasil percobaan modul surya pada saat berbeban pada keadaan mendung

Pukul	V _m (Volt)	V _p (Volt)	I _p (Ampere)	V _d (%)	Cuaca
09.00	11,19	10,85	0,58	3,1	Mendung
10.00	11,21	10,90	1,10	2,84	Mendung
11.00	11,22	10,93	1,36	2,65	Mendung
12.00	11,22	10,96	1,65	1,67	Mendung
13.00	11,24	10,05	1,63	1,84	Mendung
14.00	11,24	10,10	1,53	1,29	Mendung
15.00	11,18	10,95	1,42	2,1	Mendung
16.00	11,18	10,90	0,60	1,83	Mendung

Nilai daya nominal modul sebesar 100 wp, dan nilai radiasinya adalah 844,6 w/m²/ hari maka keluaran minimum panel surya dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} T_{\text{nominal}} &= \frac{JSG}{MSG} \\ &= \frac{844,6}{100} \\ &= 8,446 \text{ h (jam)} \end{aligned}$$

Keterangan : JSG = Jumlah Sinar Global (w/m²)

MSG = Nilai maksimum Modul Panel Surya (w/m²)

T_{nominal} = Lamanya modul mendapatkan sinar global (Jam)

Energi yang dihasilkan oleh modul surya (E_{modul}) adalah :

$$\begin{aligned} E_{\text{modul}} &= P_{\text{nom}} \times T_{\text{nom}} \\ &= 100 \times 8,446 = 844,6 \text{ wh/hari} \end{aligned}$$

Keterangan : E_{modul} = Energi yang dihasilkan modul surya (W/hari)

P_{nom} = Daya nominal modul (Watt)

T_{nom} = Lamanya modul mendapatkan sinar global (Jam)

Jumlah minimum modul dapat ditentukan, dengan mengetahui keluaran harian minimum dimana pada penelitian diketahui 844,6 wh/hari pada 12 volt dan DOD (*Deep of Discharge*) baterai SOLITE MF 65B24R pada umumnya 80 % (Taufiq, 2009), maka dapat ditentukan jumlah modul yang diperlukan adalah:

$$\begin{aligned} \sum \text{modul surya} &= E_r \times 100\% : E_{\text{modul}} : \text{DOD} \\ &= 60 \times 100\% : 844,6 \text{ wh/hari} : 80\% \end{aligned}$$

$$= 0.089 = 1 \text{ modul}$$

Solar modul 100 *waat peak* (wp) memiliki kepingan 36 dengan diameter 12,45 cm , jadi luas keseluruhan sel surya dapat dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= (p \times L) \times 36 \\ &= 10,8 \times 6,75 \times 36 \\ &= 2,624 \text{ m} \end{aligned}$$

Pada radiasi 1000 w/m^2 , modul dapat menghasilkan daya maksimum sebesar 100 wp, maka total daya foton (p_{in}) yang diterima modul = $191,3 \times 1000 \text{ W/m}^2 = 2,624 \text{ Watt}$.

Faktor pengisian (*Fill Factor*) adalah rasio dari daya keluaran maksimum yang diperoleh dari hasil kaliparameter – parameter yang terdapat pada modul surya yaitu tegangan (*open circuit*) (V_{oc}), Arus *Short circuit* (I_{sc}), tegangan nominal modul (V_m) dan arus nominal modul. Peneliti mengambil data sesuai dengan spesifikasi modul surya yang digunakan dengan data sebagai berikut

Tabel 4. 9 Spesifikasi Modul Surya (I_m)

V_{mp}	I_{mp}	I_{sc}	V_{oc}
16,05 V	6,29A	7,42 A	21,8V

Maka untuk mengetahui Fill Factor (FF) persamaan yang digunakan untuk menentukan (FF) berdasarkan spesifikasi modul surya sesuai dengan tabel 9 menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

$$= \frac{16,05 \times 6,29}{21,8 \times 7,42}$$

$$= 0,62 \text{ Watt}$$

Keterangan :

V_{oc} = Tegangan open circuit (Volt)

I_{sc} = Arus Short circuit (Ampere)

V_m = Tegangan Nominal (Volt)

I_m = Arus (Ampere)

Dengan mengetahui luasan modul dan faktor pengisian maka efesiensi modul dapat diketahui efesiensi modul dengan persamaan :

$$n = \frac{v_{oc} \cdot i_{sc} \cdot FF}{S \cdot F} \times 100 \%$$

$$= \frac{21,8 \times 7,42 \times 0,62}{2,624 \times 844,6}$$

$$= 22,22 \%$$

Keterangan :

V_{oc} = Tegangan open circuit (Volt)

I_{sc} = Arus Short circuit (Ampere)

S = Luas permukaan modul (m^2)

F = Intentitas radiasi matahari yang diterima ($watt/m^2$)

Jadi Efesiensi maksimum modul surya yang digunakan adalah = 22,22 %

i. Pengujian Pompa air Tenaga Surya

Peneliti menggunakan cara dengan melakukan percobaan pengujian pompa air tenaga surya dengan menghidupkan pompa air ke dalam kali Ketiwon Kelurahan Dampyak Kab, Tegal lalu menyuplai nya ke dalam penampung Drum 25 liter, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui debit keluaran air, dan daya isap pompa. Pengujian dilakukan dari pukul 13.00 WIB

sampai 17.00 WIB dengan sudut panel surya 60^0 , serta di uji pada cuaca cerah, yang dilaksanakan pada tanggal 7 Juli 2020.

Tabel 4.10 Pengujian Pompa Air Tenaga Surya Pada cuaca cerah
dengan Ketinggian Output 4 meter Volume corong dengan volume
penampung 0,025 m³

No	Pukul	Volt (V)	Ampere (I)	Daya electric (Watt)	Daya Aliran (Watt)	Waktu (detik)	Debit air (m ³ /detik)	Efesiensi Pompa (%)
1.	13.00	11,79	1,18	12,29	8,049	121,876	0,00020513	62,05%
2.	14.00	11,79	1,18	13,91	3,696	94,2	0,00026539	26,57%
3.	15.00	11,73	1,17	13,72	7,828	125,304	0,00019951	57,05%
4.	16.00	11,73	1,17	13,72	7,557	129,816	0,00019258	55,08%
5.	17.00	11,76	1,18	13,87	6,841	143,394	0,00017434	49,32%

Rumus yang digunakan pada tabel 9 menggunakan persamaan

sebagai berikut :

a) Mencari Debit

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{0,025}{121,876}$$

$$Q = 0,00020513 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Dimana :

$$Q = \text{Debit air (m/s}^3\text{)}$$

$$V = \text{Volume (m}^3\text{)}$$

$$t = \text{Waktu (sekon)}$$

b) Mencari Daya Elektrik

$$P_{in} = V \times I$$

$$P_{in} = 11,79 \times 1,18$$

$$P_{in} = 12,97 \text{ Watt}$$

Dimana :

V : Tegangan listrik (volt)

I : Aus Listrik (Ampere)

C. Mencari daya out put Aliran

$$\begin{aligned} P_{out} &= p \cdot g \cdot h \cdot Q \\ &= 1000 \cdot 9.81 \cdot 4 \cdot 0,00020513 \\ &= 8,049 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Dimana :

P = Massa air (kg/m^3)

g = Gravitasi (9,81)

h = Tinggi head (Meter)

Q = Debit air (m^3/detik)

D. Efisiensi Pompa

Perhitungan besarnya efisiensi pompa DC tipe sentrifugal dengan tinggi head 4 meter:

$$\begin{aligned} n &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \\ &= \frac{8,049}{12,97} \times 100 \\ &= 62,05 \% \end{aligned}$$

Dimana:

N = Efisiensi pompa

P_{out} = Daya aliran

P_{in} = Daya Elektrik

Tabel 4.11 Nilai Efektivitas Pompa Air Tenaga Surya

Pukul (Wib)	Intentitas Cahaya Matahari (Watt/m ²)	Daya ElektricPompa (Watt)	Daya Panel Surya (Watt)	Daya ACCU (Watt)
13.00	1059,1	8,049	12,29	179,9
14.00	814,3	3,696	13,91	178,2
15.00	582,4	7,828	13,72	169,8
16.00	632,3	7,557	13,72	164,2
17.00	432,1	6,841	13,87	156,9

4.2 Pembahasan

Dengan telah dilakukannya pengujian dan pengolahan data pada Pompa air DC tenaga Surya, maka diperoleh data yang kemudian dianalisa dengan hasil sebagai berikut;

Diketahui Intentitas rata – rata cahaya matahari di daerah Kali ketiwon Dampyak Kab Tegal dimana telah di ukur dengan alat ukur Power Meter Solar, pengukuran dilakukan selama 2 hari maka ditemukan angka intentitas rata – rata cahaya matahari sebesar $844,6 \text{ w/m}^2$. Berikut grafik hasil rata – rata pengukuran intentitas cahaya matahari di darah kali ketiwon Dampyak Kab. Tegal.

Hasil pengukuran Intentitas cahaya matahari pad tanggal 5 juli 2020 didapatkan nilai terkecil pada pukul 16.00 Wib yaitu sebesar $124,5 \text{ Watt/m}^2$, dan pada tanggal 6 juli 2020 nilai terbesar didapatkan pada pukul 11.00 dan 13.00 Wib sebesar $1254,4 \text{ Watt/m}^2$.

Sedangkan pada pengujian panel surya dengan sudut $30^0, 60^0, 90^0$, yang dilakukan pada pukul 13.00, 14.00, 15.00 Wib didapatkan daya terbesar terjadi pada sudut 60^0 dengan nilai rata – rata daya yang dihasilkan sebesar 38,14 Watt. pengukuran kapasitas baterai arus yang ter ukur pada 10 menit pertama sebesar 82,89 ampere, dan 10 menit keenam 82,13 Ampere. Sedangkan hasil perhitungan yang didapat menurut periode penyimpanan yang sudah ditetapkan selama 3 hari sebesar, 3,75 Ah, maka kapasitas baterai yang terpakai selama 1 jam beban pompa air hidup 2,85

Ampere dan sisa kapasitas baterai setelah pemakaian 1 jam beban pompa air adalah 82,13 Ampere

Pada pengujian jatuh tegangan pada cerah dan mendung didapatkan nilai jatuh tegangan terkecil sebesar 1,27 % yang terjadi pada pukul 14.00 Wib, jatuh tegangan terbesar 3,1 % pada pukul 08.00 Wib.

Nilai efisiensi panel 100 Watt Peak adalah sebesar 22,87%, pada pengujian pompa air tenaga surya didapatkan nilai efisiensi pompa terbesar pada angka 65,02 % yang terjadi pada pukul 13.00 Wib. Pada nilai rata – rata efektivitas pompa air tenaga surya terhadap waktu pengujian dimana nilai rata – rata Daya electric pompa sebesar 6,7942 Watt, Nilai rata – rata daya panel sebesar 13,50 Watt, sedangkan nilai rata - rata daya ACCU sebesar 169,8 Watt.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian alat, pengambilan data, dan pembahasan dalam penelitian ini, maka dapat peneliti mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan radiasi matahari sekitar wilayah Kali ketiwon Dampyak, Kab.Tegal didapatkan data sebesar 844,6 w/m²/Hari. Dan efesiensi maksimum modul surya yang digunakan sebesar 22,87 %.
2. Dari hasil pengukuran kapasitas baterai arus yang ter ukur pada 10 menit pertama sebesar 82,89 ampere, dan 10 menit keenam 82,13 Ampere. Sedangkan hasil perhitungan yang didapat menurut periode penyimpanan yang sudah ditetapkan selama 3 hari sebesar, 3,75 Ah, maka kapasitas baterai yang terpakai selama 1 jam beban pompa air hidup 2,85 Ampere dan sisa kapasitas baterai setelah pemakaian 1 jam beban pompa air adalah 82,13 Ampere
3. Dari hasil pengukuran dari berbagai sudut 30, 60, 90, 120, 210 derajat didapatkan arus dan tegangan yang stabil terdapat pada sudut 60 derajat dengan rata – rata pada angka 19,54 V, dan arusnya pada angka 1,94 Ampere.
4. Perentase jatuh tegangan dengan beban yang sama pada sistem fotovoltaiik terbesar terjadi pada saat cuaca mendung pada jam 09.00

WIB yaitu sebesar 3,1 % dan jatuh tegangan terkecil terjadi pada saat keadaan cerah pada jam 14.00 WIB yaitu sebesar 1,27%. Dan nilai efesiensi pompa terbesar terjadi pada pukul 14.00 sebesar 76,3%, Nilai Efesiensi pompa sebesar 62.05% yang terjadi pada pukul 13.00 Wib.

5. Dari hasil pengukuran kemiringan panel surya didadaptkan daya Panel surya pada sudut 60^0 dengan nilai rata – rata 38,14 Watt.

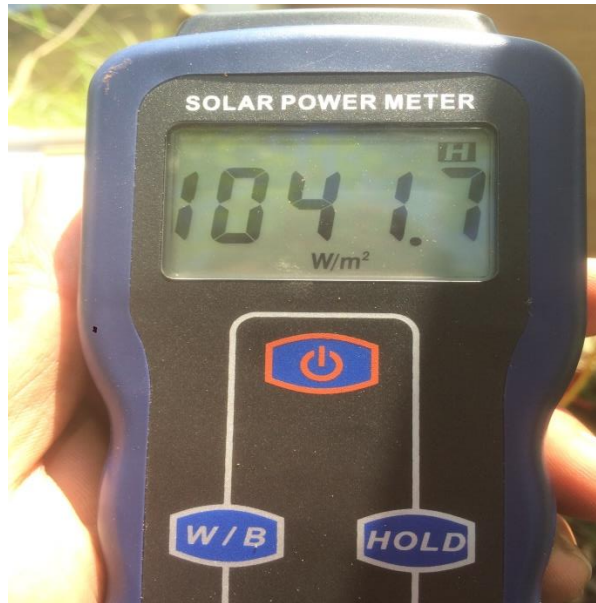
5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya perlu menganalisa Pompa air dengan arus bolak – balik AC (Arus Bolak – Balik), karna penggunaan pompa air skala rumah tangga rata – rata pengguna menggunakan pmpa air AC.
2. Pompa Air YORK – DC memiliki kelemahan tidak mampu mengelurakan debit air pada ketinggian 5 meter ke atas
3. Untuk pengambilan data perlu watu 1 bulan penuh agar lebih efektif.
4. Perlu pengembangan skala besar menggunakan Tenaga Matahari untuk pompa air skala besar
5. Untuk penggunaan Pompa Air Tenaga Surya dengan beban 60 watt sudah tepat dan perlu daya beban ditingkatkan lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Dhimas Febriananda Prakoso, (2014). *Kinerja Pompa Air Portable Berdasarkan Intenitas Tenaga Surya*, vol (3) Februari - Maret
- Dunlop, J.P, (1997). *Batteries in Stand – Alone Photovoltaic System, Fundamentals and Application, Florida Solar Energy Center* ,1997.
- Harsono, H., (2003). *Photovoltaic Water pump system*, Disertasi, Kochi University of Technology.
- Mustaqim (2016) “*Analisa Sudut Serang Bilah Pada Turbin Angin Sumbu Horizontal Enam Bilah Datar Sebagai Penggerak Pompa*”, Jurnal. Universitas Pancasakti Tegal.
- Prasetya, Yoga.2014, “*Analisis peningkatan efisiensi penggunaan energi listrik pada sistem pencahayaan dan air conditioning (AC) di gedung perpustakaan umum dan arisp daerah Kota Malang*”. Malang:Universitas Brawijaya.
- Santhiarsa, I.N, Kusuma, I.W., (2005), *Kajian Energi Surya Untuk Pembangkit Listrik, Teknologi Elektro*, Vol (4) Januari – Juni.
- Setiono, Iman. 2011. “*Efisiensi pemakaian energi Listrik pada lampu penerangan*”. Semarang: Universitas Wahid Hasyim.
- Taufiq, A, Hendre, A,P. (2010). *Penggunaan Solar cell Untuk Sumber Energi Kursi Roda Otomatis dan Monitoring Aki*. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Setiono, Iman. 2011. “*Efisiensi pemakaian energi Listrik pada lampu penerangan*”. Semarang: Universitas Wahid Hasyim.
- Zian Iqtimal. 2018. “*Aplikasi Sistem Tenaga Surya Sebagai Sumber Tenaga Matahari Tenaga Listrik Pompa Air*, Vol (4) Januari – Maret

LAMPIRAN



Pengambilan Data Intensitas Cahaya Matahari



Pengukuran Tegangan dan Arus Panel Surya Pada Pengaruh Sudut



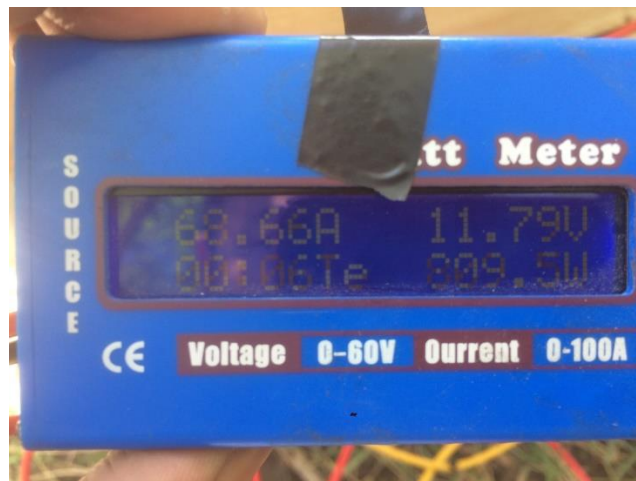
Pembacaan digital waatmeter pada pengujian sudut panel surya



Pembacaan digital waatmeter pada pengujian sudut panel surya



Pengujian Jatuh Tegangan dengan beban pompa



Pembacaan waatmeter pada angka jatuh Tegangan



Kondisi Baterai pada saat pengisian



Pengujian Pompa Air tenaga surya



Pengukuran Intensitas cahaya Matahari



Pengujian pompa air Tenaga Surya